

**PROPUESTA PARA LA ELABORACIÓN DE UN INHIBIDOR DE CORROSIÓN A  
PARTIR DE LA BORRA DE CAFÉ PARA SU APROVECHAMIENTO A NIVEL  
INDUSTRIAL**

**JOSÉ FRANCISCO CORREAL RUEDA**

**Proyecto Integral de Trabajo de Grado para optar por el título de  
INGENIERO QUÍMICO**

**Director**

**Claudio Alberto Moreno Arias**

**Ingeniero Químico**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA**

**FACULTAD DE INGENIERÍAS**

**PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**BOGOTÁ D.C.**

**2022**

**Nota de aceptación**

---

---

---

---

---

**Ing. Claudio Alberto Moreno Arias**

---

**Ing. Cesar Augusto Sánchez Correa**

---

**Ing. Iván Ramírez Marín**

**Bogotá, D.C., junio 2022**

## **DIRECTIVOS DE LA UNIVERSIDAD**

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

**Dr. MARIO POSADA GARCÍA-PEÑA**

Consejero institucional

**DR LUIS JAIME POSADA GARCÍA-PEÑA**

Vicerrectora Académica y de Investigaciones

**Dra. ALEXANDRA MEJÍA GUZMÁN**

Vicerrector Administrativo y Financiero

**Dr. RICARDO ALFONSO PEÑARANDA CASTRO**

Secretario General

**Dr. JOSÉ LUIS MACÍAS RODRÍGUEZ**

Decana de la Facultad de Ingenierías

**Ing. NALINY PATRICIA GUERRA PRIETO**

Directora de programa

**Ing. NUBIA LILIANA BECERRA OSPINA**

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables de los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores

## **Dedicatoria**

Dedico este trabajo de grado a Dios, por siempre darme la fortaleza y la sabiduría para seguir cada día, a mi familia por apoyarme y permitirme la oportunidad de empezar mí proyecto de vida y por último a todos aquellos que brindaron tiempo, palabras y fuerzas para seguir adelante.

**JOSÉ FRANCISCO CORREAL RUEDA**

## **Agradecimientos**

Agradezco a mi familia, por acompañarme incesantemente durante el recorrido del camino que nos trajo hasta este momento de nuestra vida académica. A la Universidad de América por brindarnos herramientas, buenos profesores y ponernos retos, lo cual sin lugar a duda nos ha hecho día a día profesionales capaces de afrontar grandes retos. Gracias a mi director de tesis profesor Claudio Alberto Moreno, quien encaminó, acompañó y orientó la ejecución de este proyecto.

## TABLA DE CONTENIDO

	<b>pág.</b>
<b>1. GENERALIDADES</b>	<b>17</b>
1.1 Cafeto	17
1.2 Características botánicas	18
1.2.1 Variedades de café	19
1.3 Café	20
1.4 Mercado del café	22
1.5 Café en Colombia	23
1.6 Bagazo	25
<b>2. MARCO TEORICO</b>	<b>28</b>
2.1 Corrosión	28
2.1.1 Tipos de corrosión	29
2.2 Clasificación por mecanismo de corrosión	33
2.2.1 Corrosión seca	33
2.2.2 Corrosión húmeda	33
2.2.3 Corrosión dulce	34
2.3 Recubrimientos protectores	35
2.3.1 Recubrimientos no metálicos	35
2.3.2 Recubrimientos orgánicos	35
2.3.3 Recubrimientos metálicos	35
2.3.4 Inmersión en metales fundidos	36
2.4 Inhibidores de corrosión	36
2.4.1 Clasificación de los inhibidores de corrosión	37
2.5 Restricciones ecológicas de los inhibidores	44
2.6 Método gravimétrico: medida de la pérdida de peso	45

<b>2.7 Procesos de extracción</b>	46
2.7.1 Destilación	46
<b>2.8 Clasificación de los aceites esenciales</b>	48
2.8.1 Clasificación según su consistencia.	48
<b>2.9 Técnicas para la obtención de extractos</b>	50
2.9.1 <i>Métodos directos</i>	50
2.9.2 <i>Destilación</i>	51
2.9.3 <i>Extracción con solventes.</i>	52
2.9.4 <i>Enfloración</i>	54
<b>2.10 Tratamiento</b>	54
<b>3. METODOLOGIA</b>	<b>59</b>
<b>3.1 Materiales</b>	59
3.1.1 <i>Solvente</i>	59
<b>3.2 Equipos y sustancias</b>	59
<b>3.3 Procedimiento extracción Soxhlet</b>	63
3.3.1 <i>Montaje (Soxhlet)</i>	63
3.3.2 <i>Etapa 1</i>	64
3.3.3 <i>Etapa 2</i>	64
3.3.4 <i>Etapa 3</i>	65
<b>3.3 Destilado</b>	66
<b>3.4 Resultados</b>	71
<b>4. CONCLUSIONES</b>	<b>73</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>78</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>85</b>

## LISTA DE FIGURAS

	<b>pág.</b>
<b>Figura 1</b> Árbol del cafeto	17
<b>Figura 2</b> Grano de café	21
<b>Figura 3</b> Estructura del grano de café	22
<b>Figura 4</b> Producción mundial de café	23
<b>Figura 5</b> Producción anual de café en Colombia	23
<b>Figura 6</b> Diagrama de los diferentes tipos de corrosión	28
<b>Figura 7.</b> Tipos de corrosión según asme.	32
<b>Figura 8.</b> Corrosion seca.	33
<b>Figura 9.</b> Corrosion humeda.	34
<b>Figura 10.</b> Ejemplo de una amina grasa.	55
<b>Figura 11.</b> Reacción para la obtención de una amina grasa.	57
<b>Figura 12.</b> Síntesis del inhibidor tipo amida	58
<b>Figura 13.</b> Linoleico n-[2-[(2-hidroxietil) amino] etil]-amida	58
<b>Figura 14.</b> Montaje soxhlet	63
<b>Figura 15.</b> Montaje destilacion simple	66
<b>Figura 16.</b> Destilado.	67
<b>Figura 17.</b> Conductímetro.	69
<b>Figura 18.</b> Esquema para la perdida de masa.	71
<b>Figura 19.</b> Montaje para pérdida de masa.	72

## LISTA DE TABLAS

	pág.
<b>Tabla 1.</b> Clasificación Taxonómica.	18
<b>Tabla 2.</b> Contenido de ácidos grasos en la borra.	26
<b>Tabla 3.</b> Condiciones de operación y equipos de proceso.	60
<b>Tabla 4.</b> Concentraciones de sustancias empleadas.	61
<b>Tabla 5.</b> Compuestos químicos presentes en el agua de llave.	62
<b>Tabla 6.</b> Condiciones de operación extracción soxhlet.	65
<b>Tabla 7.</b> Condiciones de destilado del destilado.	68
<b>Tabla 8.</b> Velocidad de corrosión en láminas de acero ASTM A-36.	74
<b>Tabla 9.</b> Eficiencias de inhibición (Primera semana).	75
<b>Tabla 10.</b> Eficiencias de inhibición (Segunda semana).	75
<b>Tabla 11.</b> Pérdida de masa por 2 semanas	85

## LISTA DE ECUACIONES

	<b>pág.</b>
<b>Ecuación 1.</b> Reacciones de óxido-reducción.	28
<b>Ecuación 2.</b> Reacciones catódicas.	28
<b>Ecuación 3.</b> Reducción de oxígeno.	28
<b>Ecuación 4.</b> Modelo Langmuir.	44
<b>Ecuación 5.</b> Velocidad de corrosión.	46
<b>Ecuación 6.</b> Densidad.	68
<b>Ecuación 7.</b> Dilución liquido-solido.	71
<b>Ecuación 8.</b> Dilución liquido-liquido.	71
<b>Ecuación 9.</b> Eficiencia de un inhibidor.	72

## LISTA DE ABREVIATURAS

**°C:** Grados Centígrados

**mL:** Mililitro

**L:** Litro

**cm:** Centímetro

**m:** Metro

**mm:** Milímetros

**s:** Segundo

**min:** Minutos

**h:** Hora

**kg:** Kilogramo

**pH:** Potencial hidrógeno

## RESUMEN

El presente trabajo, tiene como propósito llevar a cabo la obtención de aceite a partir de la borra de café a escala laboratorio para evaluar sus propiedades como un posible inhibidor de corrosión, Los aceites de origen vegetal han tomado gran interés por las propiedades que presentan como sustitutos en varios procesos como por ejemplo con el caso del curtido del cuero reemplazando al uso de las sales de cromo.

Representando además como un valor agregado, es el de brindar un recurso renovable a la hora de su obtención, el café es un alimento altamente consumido en Colombia y el mundo, por las atractivas propiedades alimenticias, en la salud y el bienestar, que genera en el consumidor; sin embargo, el residuo que se genera, en el colado, conocido como borra es el residuo que queda del proceso de preparación. Este desecho es eliminado sin ser reutilizado, por este motivo, y analizando las propiedades de los aceites vegetales, se estudió como un recurso que podría ser empleado como un inhibidor a la corrosión, problemática que afecta y genera grandes pérdidas en la industria.

Por este motivo, se propone el desarrollo de un diseño de experimentos que permita determinar la viabilidad del aprovechamiento de este desecho, siguiendo con la caracterización del aceite obtenido. La recolección de la borra de café, se hace en la residencia del estudiante para posteriormente ser almacenada en un ambiente frío, que evitar el deterioro de la muestra, esto hasta alcanzar la cantidad idónea para realizar la extracción del aceite por el método de extracción Soxhlet y finalizar con una fase experimental de pérdida de masa, conocida como prueba gravimétrica, en donde se aplicará este aceite en las piezas metálicas, para poder identificar algún tipo de cambio en las mismas. Se dispondrá de un testigo para cada una de las diferentes concentraciones, el metal empleado es el A36, siendo un metal bastante usado a nivel industrial, dicho montaje se realizará por un periodo de 2 semanas. Los medios corrosivos a los que se verán expuestos siendo el ácido clorhídrico en porcentajes volumen/volumen 5%,10 % y 15% y el segundo medio corrosivo sería una solución salina a esas mismas concentraciones pero en porcentaje peso/volumen y finalmente con los datos recolectados en este intervalo de dos semanas se procederá a el cálculo de la velocidad y eficiencia de la corrosión para evaluar su utilidad como inhibidor de la corrosión.

**Palabras Clave:** Café, corrosión, inhibidor, borra de café, aceite.

## INTRODUCCION

La corrosión es definida como el deterioro de un material, la cual es causada por un medio agresivo. Un ambiente corrosivo puede ser el agua, aire, dióxido de carbono, líquidos orgánicos, sales disueltas o gases sulfurosos. [1].

La corrosión es generada por las reacciones químicas y electroquímicas que se van desarrollando entre un material y el medio en que se encuentra, se considera como uno de los fenómenos más perjudiciales, pues representa costos anuales multimillonarios, a las empresas, debido a la destrucción de equipo y estructuras metálicas.

Existen diferentes mecanismos que favorecen la corrosión. Por ejemplo, se puede considerar las emisiones de gases a la atmósfera, que resultantes de la actividad en la parte industrial o en menor medida en la parte domésticas, así como en la quema de combustibles. Por estos orígenes, en su mayoría son los óxidos de azufre y de nitrógeno, entre otros; los cuales, en la presencia de la humedad en el medio ambiente, tienden a la formación de ácidos, conocido como un medio altamente corrosivo.

En consecuencia, la corrosión se genera en estructuras, aparatos y dispositivos metálicos expuestos a medios contaminantes de la atmosfera o a acciones del medio ambiente, que los afectan en sus estructuras. Por lo cual se hace necesario realizar correctivos, que permita alargar la vida útil del metal. Que componen maquinaria, equipo y vehículos, entre otros. y como se mencionó es el entorno a que se expone la maquinaria y equipo de las empresas. Lo que representa pérdidas económicas para las empresas, por las inversiones que se realizan en los equipos de altos porcentajes de gastos por el mantenimiento correctivo [2], haciendo evidente la necesidad de emplear métodos de protección contra esta, para así evitar grandes inversiones de capital.

Uno de los principales métodos para combatir la corrosión es el uso de los inhibidores: sustancias que se utilizan para poder controlar los efectos de la corrosión en procesos industriales o domésticos, ya sea por el contacto con soluciones acuosas o bien, al ser aplicados en la formulación de pinturas anticorrosivas para ambientes corrosivos. La importancia y elección de los inhibidores deriva de diferentes circunstancias. [3]

- Los materiales que se van a proteger.
- El tiempo efectivo de protección
- El método de aplicación (inmersión, aspersión, cepillado).
- Tipo de protección requerida (en proceso, almacenamiento o embarque).
- Tipo y espesor del recubrimiento deseado
- Requerimientos ambientales, de salud y de seguridad.

Sin embargo, la mayoría de estos compuestos presentan una alta toxicidad por el uso de metales pesados. Debido a estos actualmente se investigan nuevos tipos de compuestos orgánicos que no representen un riesgo para el medio ambiente y el término de su vida útil [4].

Otro hecho de suma importancia que debe de ser considerado es la fuente de obtención, debido a que muchos provienen de materiales sintéticos de origen fósil en dónde se generaría la aparición de subproductos que pueden representar un riesgo para el medio ambiente al no presentar un grado de biodegradabilidad haciendo que ese componente este mucho tiempo en este ambiente y durante este proceso afectaría constantemente a la fauna y flora dado que en la zona de exposición a la sustancia podría alcanzar a llegar reservorios acuíferos y de manera directa o indirecta al terminar en los seres humanos residentes en la zona. Como una posible solución, se ha planteado la síntesis de inhibidores a partir de fuentes naturales, pero muchas de estas presentan un alto coste de adquisición o una baja disponibilidad.

Ante este tipo de inconveniente se planteó el estudio de la obtención de este componente el cual es utilizado como materia prima en un proceso determinado, es necesario buscar fuentes disponibles. Tal es el caso del café una bebida consumida a nivel global y además como su obtención no sería ningún inconveniente dado que Colombia es uno de los mayores productores de café a nivel mundial. [5]

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Evaluar la eficiencia inhibidora de la corrosión del residuo del café, mediante pruebas de pérdida de masa para su aprovechamiento en el sector industrial

### **OBJETIVO ESPECÍFICO**

1. Identificar las posibles sustancias responsables de inhibir la corrosión presente en el residuo de café.
2. Elaborar un aceite hecho a partir de la borra de café como inhibidor a la corrosión.
3. Establecer la velocidad de corrosión, a partir de pruebas de pérdida de masa para hallar la eficiencia inhibidora del mismo.

## 1. GENERALIDADES

### 1.1 El cafeto

Planta de la familia de las rubiáceas, siendo la cuarta familia más grande de plantas con 13500 especies [38]. Estas se caracterizan por estípulas, pequeñas estructuras encontradas en el tallo en la hoja donde a futuro se generará una nueva. Son nativas del sur de Asia y el África subtropical. Se cultivan exclusivamente por sus semillas que se emplean de diferentes maneras como lo pueden ser molidas o tostadas, las cuales serán usadas para la elaboración del café, la cual es una bebida estimulante; la popularidad de este hace que la importancia económica del cafeto sea extraordinaria, siendo uno de los productos vegetales más importantes del mercado global

#### **Figura 1.**

*Árbol de cafeto*



**Nota.** La imagen representa al árbol de cafeto comúnmente encontrado en Colombia. Tomado del “catálogo virtual de flora del valle de aburra”. [En línea]. Disponible: <https://catalogofloravalleaburra.eia.edu.co/species/91>

## 1.2 Características botánicas

Es un arbusto o árbol pequeño, posee su color a lo largo del año esto debido al clima en donde esta se encuentre (perennifolio), puede llegar a alcanzar los 10 metros en estado silvestre ; en los cultivos se los mantiene normalmente en tamaño menor, alrededor de 3 metros. Las hojas poseen una forma elíptica con una tonalidad oscuras y al tacto posee una sensación similar al cuero tosca, pero flexible. Florece a partir del tercer o cuarto año de crecimiento El fruto es una drupa es decir, contienen abundante pulpa que rodea un único endocarpio (semilla), tiene un periodo de crecimiento de unas 15 semanas a partir de la floración; el endospermo comienza a desarrollarse a partir de la duodécima semana, y acumulará materia sólida en el curso de varios meses, atrayendo casi la totalidad de la energía producida por la fotosíntesis. [4]

El cafeto requiere de bastante humedad para dar fruto; prefiere los terrenos altos, y no es resistente a las heladas, En una situación favorable, el cafeto produce fruto durante 50 o 60 años, con un rendimiento de 800 a 1400 kg por hectárea. Se estima que la producción mundial proviene de unos 15 mil millones de ejemplares, ocupando más de 100.000 km<sup>2</sup> de plantaciones.

**Tabla 1.**

### *Clasificación Taxonómica del cafeto*

REINO	Plantae
DIVISION	Magnoliophyta
CLASE	Magnoliopsida
ORDEN	Gentianales
FAMILIA	Rubiaceae
SUB FAMILIA	Ixoroideae
TRIBU	Coffeae
GENERO	Coffea

*Nota.* Clasificación taxonómica del árbol de cafeto. [En línea] Tomado de <https://www.yoamoelcafedecolombia.com/2016/08/31/taxonomia-del-cafe/>

### **1.2.1 Variedades de Café**

- **Coffea arabica**

Alcanza entre 9 y 12 metros de altura en estado silvestre, con hojas opuestas y simples, ovales u oblongas, de color verde oscuro, borde ondulado, base obtusa y ápice acuminado. Produce una drupa carnosa y ovoide de color rojo brillante que contiene dos semillas. Los frutos de *C. arábica* contienen menos cafeína que otras especies cultivadas comercialmente su cultivo tiene gran importancia económica en Colombia, México, África, Estados Unidos, Brasil, Vietnam, Guatemala, Costa Rica y Honduras, países los cuales son los principales productores mundiales de café. [ 26 ]

Se caracterizan por producir una bebida suave (de acidez y aroma pronunciados y amargo moderado).

- **Coffea canephora**

El término “Robusta” es en realidad el nombre de una variedad de esta especie ampliamente cultivada. Es un arbusto o pequeño árbol robusto que puede crecer hasta alcanzar 10 metros de altura y tiene una raíz poco profunda. El fruto es redondeado y tarda hasta 11 meses en madurar; la semilla es de forma alargada y más pequeña que la del *C. arabica*. El café Robusta se cultiva en África Central y Occidental, en todo el Sudeste de Asia y un poco en Brasil, donde se le llama Conillón. [26]

- **Coffea liberica**

El café Liberica se da en un árbol fuerte y de gran tamaño, de hasta 18 metros de altura, de hojas grandes y coriáceas. El fruto y la semilla (grano) son también grandes. El café Libérica se cultiva en Malasia y en África Occidental, pero sólo se comercia en cantidades muy pequeñas, dado que la demanda de sus características de aroma y sabor es muy escasa. [26]

### 1.3 Café

En el momento en que los frutos alcanzan una madurez de siete a nueve meses después de la floración empieza la cosecha del café, en Colombia se da desde el mes de marzo hasta el mes de abril y de noviembre a diciembre. Esto se genera porque Colombia es uno de los países que genera dos cosechas por año. La recolección se realiza principalmente en forma manual y selectiva, recogiendo solo las cerezas de café maduras y evitando dañar las yemas de las ramas.

Una vez cosechados los frutos, también llamados “café cereza”, deben procesarse para retirar pulpa y mucílago y así obtener el grano recubierto por el pergamino, llamado “café pergamino” o “café verde” [4]. Inicialmente las cerezas de café recién cogidas se procesan, ya sea mediante el método seco o el húmedo.

En el proceso húmedo, las cerezas recién cosechadas se lavan y se dejan reposar en agua de 24 a 48 horas. En este proceso de fermentación se rompe toda la piel de la cereza y se suelta la miel que recubre los granos.

Una vez lavado el café, se extiende en superficies limpias, exponiéndolo al sol para su secado por un periodo de 5 días. [39]

Los granos se dejan reposar de tres a cuatro semanas en su pergamino. El café pergamino muestra ya las características que conocemos de un grano de café, solo que este grano se encuentra envuelto en una cubierta amarillenta.

Los productores que no tienen la necesidad de vender su café de inmediato guardan el café en este estado de pergamino en lonas en lugares airados. Algunas cosechas incluso se envejecen para mejorar el sabor del café.

Finalmente, los granos son colocados en una moladora para eliminar esta capa y obtener los granos de café verde.

El uso de esta técnica resulta en un café más limpio, brillante y afrutado. La mayoría de los países que producen la variedad arábica, usan este método, ya que permite alcanzar sabores más afrutados y una acidez más valorada.

Un inconveniente de este método es la gran cantidad de agua usada frente a este inconveniente se desarrolló el método seco.

El método seco, es un método más simple más barato, aunque esto no quiere decir que el café así manejado sea necesariamente de baja calidad.

El proceso inicia con las cerezas recién cosechadas se ponen a secar. Cuando están completamente secos, los granos se muelen para eliminar la piel de cereza, el pergamino y la piel de plata, todo de una vez.

El proceso en seco produce un café de cuerpo más pesado y complejo. Es un método ampliamente usado en países como en Indonesia, Etiopía, Yemen y parte de Brasil

El proceso que se vaya a emplear para el procesado del café se debe de iniciar el mismo día de su cosecha a riesgo de que comience la fermentación y los granos se malogren.

**Figura 2.**

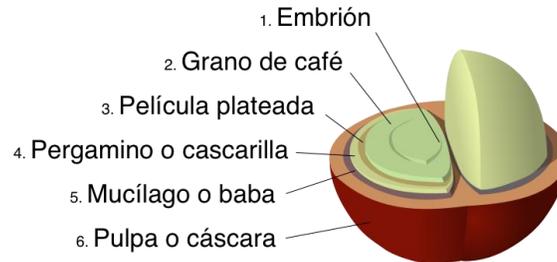
*Grano de Café*



*Nota.* La imagen representa al Grano del café previo a su recolección. Extraído de “Plantophile” [En línea] Disponible: <https://plantophiles.com/plant-care/coffee-plant-care/>

### Figura 3.

#### *Estructura del grano del Café.*



**Nota** Describe las partes presentes en el Fruto del café. Extraído de “coffee Media”

[En línea]. Disponible.

<https://www.yoamoelcafedecolombia.com/2017/02/26/estructura-del-fruto-del-cafe/>

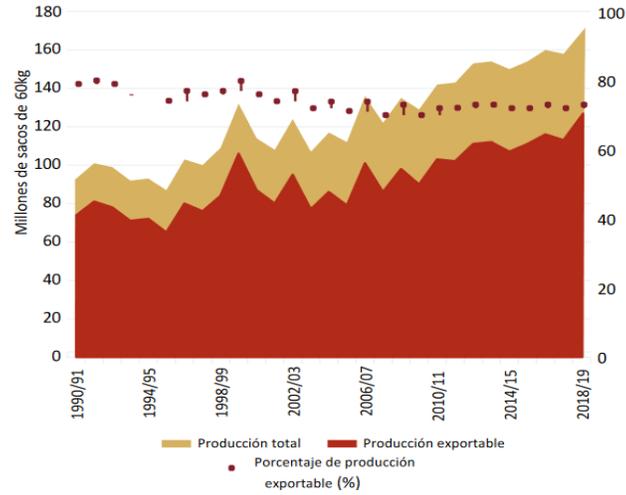
## 1.4 Mercado del café

A nivel mundial el café es valorado por la segunda bebida más importante después del agua, su contenido más famoso es el que posee como componente estrella la cafeína y por su agradable sabor, pero esta bebida aporta muchos más como lo son antioxidantes, vitaminas, provitaminas y minerales, también por su sabor dulce y su especial aroma.

El valor del comercio de café es de más de USD 200 mil millones al año, por lo cual es un mercado en crecimiento que crea considerables oportunidades económicas para los productores y los actuantes en los tramos más altos de la cadena de valor [24]. El comercio mundial de café se realiza en dos mercados principales: el mercado de productos básicos, que ofrece principalmente café a granel producido en gran volumen y de calidad corriente, y es sensible a los precios, y el mercado de calidad especial (prima), que tiene un volumen más bajo de grano de café, pero de calidad más alta, y ofrece mejores precios a los exportadores de café.[25]

**Figura 4**

*Producción Mundial de Café*

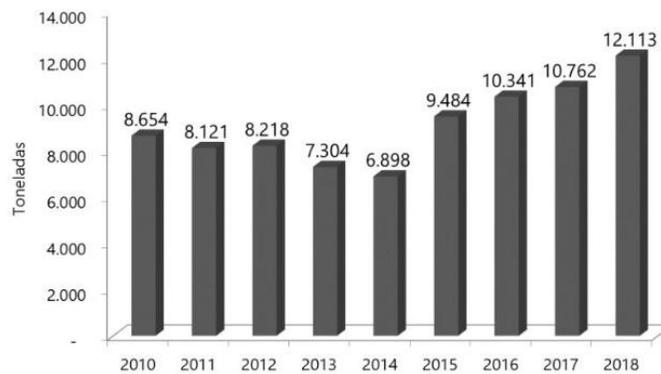


**Nota.** La imagen muestra la cantidad de importaciones y exportaciones de toneladas de café alrededor de 1990 a 2010. Tomado de “Comportamiento de la Industria Cafetera Colombiana”. Disponible en: [“https://federaciondecafeteros.org/app/uploads/2019/10/Informe\\_de\\_la\\_Industria\\_Cafetera\\_20182.pdf”](https://federaciondecafeteros.org/app/uploads/2019/10/Informe_de_la_Industria_Cafetera_20182.pdf)

## 1.5 Café en Colombia

**Figura 5**

*Producción anual de café en Colombia*



**Nota.** La imagen muestra la cantidad de café producido en Colombia. Extraído de “Comportamiento de la Industria Cafetera Colombiana”. Fuente “Buen café”. Disponible en: “[https://federaciondecafeteros.org/app/uploads/2019/10/Informe\\_de\\_la\\_Industria\\_Cafetera\\_20182.pdf](https://federaciondecafeteros.org/app/uploads/2019/10/Informe_de_la_Industria_Cafetera_20182.pdf)”

Colombia, mayor productor de Café Arábico suave lavado, seguirá trabajando por mantener la producción de café. Colombia cerró 2018 en 12.13 millones de sacos de 60 kilos, un 9 por ciento más que el cierre de 2017. Volumen de producción que no se registraba desde hace más de 25 años (16,1 millones de sacos en 1992).[27]

Este importante crecimiento es producto del estado actual de la caficultura colombiana que hoy cuenta con los mejores indicadores de su historia: variedades resistentes en el 83% de los cafetales, edad promedio de 6,6 años, densidad promedio de 5.243 árboles/ha. y productividad de 21,4 sacos/ha.

Al cierre del 2018, el valor de la cosecha cafetera fue de 7,2 billones de pesos, un 15,8% más frente a los 6,2 billones de 2018, recursos que van directamente a dinamizar la economía de los más de 600 municipios cafeteros del país. [28]

En Colombia rige el Fondo Nacional del Café se define como una cuenta de naturaleza parafiscal cuyo objetivo es contribuir a la estabilización del mercado cafetero del país. Los ingresos corrientes del fondo provienen de la venta del café, que a su nombre realiza la Federación en el interior del país y en el exterior; la remuneración por servicios que preste; los originados en impuestos y contribuciones, y los provenientes del rendimiento de las distintas inversiones, incluidas las financieras.

Los objetivos básicos del Fondo Nacional del Café son tres:

- a) Intervenir en el mercado cafetero nacional y del exterior con el propósito de promover el consumo de café colombiano, regular la oferta y demanda de café y buscar que los precios internos, sean adecuados a los requerimientos de la industria cafetera nacional y al manejo macroeconómico del país, mediante el ordenamiento de la producción, de la comercialización interna y externa, y la retención de los excedentes no exportables, en este apartado entra en juego a la federación de café, dado que gracias a esta se pudo establecer un mecanismo de diálogo con el gobierno y el impulso de políticas para el desarrollo del sector.
- b) Contribución mediante su propio capital para el cumplimiento de los pactos internacionales con respecto al café.
- c) Promover y financiar programas de investigación científica, extensión, diversificación, educación, salud, cooperativismo, bienestar social y demás que contribuyan al desarrollo, fortalecimiento y defensa de la industria cafetera colombiana y al equilibrio social y económico de la población enfoca en zonas cafeteras.

## **1.6 Bagazo de café**

El café es una de las bebidas más consumidas a nivel mundial, por tal motivo existe una gran fuente de material de desecho con un gran potencial como materia prima para la obtención de productos con alto valor agregado [6]. En la producción del café soluble el principal producto de desecho es el bagazo, esto es debido a que en la elaboración de este producto solo se utiliza el concentrado obtenido por medio de extracción con agua caliente. Debido a la forma de extracción del café soluble la mayor parte de lípidos permanece en el bagazo [7-8]. El resumen presentado por Campos se expone la variación del porcentaje de ácidos grasos contenidos en el bagazo de café dependiendo de la especie del grano, región de procedencia y tipo de tostado. La cantidad reportada

de triglicéridos van desde el 10% hasta por encima del 20% en rendimiento de extracción. Los ácidos grasos con mayor presencia en el bagazo de café son el palmítico, linoleico y oleico (tabla 2). Por ello, dado su alto contenido de ácidos grasos y alta disponibilidad, el bagazo de café es una excelente fuente oleica, sustentable como precursor para la obtención de inhibidores de la corrosión tipo amida, amigables con el medio ambiente.

**Tabla 2.**

*Contenido de ácidos grasos en el bagazo de café.*

Referencia	C12:0	C14:0	C16:0	C18:0	C18:1	C18:2	C18:3	C20:0
Acevedo et al. (2013)	-	0.05%	32.45%	8.35%	9.0%	45.04%	4.12%	-
De Melo et al. (2014)	-	-	37.37%	7.07%	8.31%	44.67%	1.42%	1.16%
Cruz et al. (2014)	-	0.1%	32.80%	7.10%	10.3%	44.20%	1.50%	2.60%
Jenkis et al. (2014)	-	-	35.40%	6.7%	6.7%	22.00%	-	0.00%
Jenkis et al. (2014)	-	-	41.40%	13.50%	24.0%	49.90%	1.40%	1.5%
Ahangari and Sargolzaei (2013)	3.50%	2.00%	43.64%	6.55%	8.18%	32.35%	1.31%	2.39%
Todaka et al. (2013)	-	0.4%	0.50%	0.30%	12.90 %	56.90%	8.50%	9.80%
Todaka et al. (2013)	-	0.3%	1.00%	28.00%	0.60%	24.90%	5.50%	37.80 %
Acevedo et al. (2013)	-	-	35.78%	6.25%	-	46.53%	2.02%	-
De Melo et al. (2014)	-	-	37.48%	6.02%	9.53%	44.52%	0.99%	-

Ahangari and Sargolzaei(2 013)	-	-	34.04%	5.45%	5.45%	25.83%	-	-
Couto et al. (2009)	-	-	35.86%	5.26%	7.56%	35.35%	-	1.53%
Ahangari and Sargolzaei (2013)	11.69 %	4.36%	36.86%	11.32%	15.87 %	44.15%	2.16%	6.91%
Couto et al. (2009)	7.4%	2.42%	41.87%	10.4%	15.79 %	41.19%	1.88%	4.29%

**Nota.** Muestra la cantidad de ácidos grasos presentes en la borra de café en listados los diferentes resultados de distintos autores. Extraído de “Spent coffee grounds: A review on current research and futures prospects”.

En donde C12:0- Ácido láurico ; C14:0- Ácido mirístico ; C16:0- ácido palmítico ; C18:0- ácido esteárico; C18:1 – ácido oleico ; C18:2- ácido linoleico ; C18:3- ácido alfa oleico ; C20:0- ácido gadoleico.

Los principales componentes presentes en el bagazo son en su gran mayoría ácidos grasos de entre los cuales los más abundantes son el ácido linoleico y el ácido palmítico. Los cuales podrían generar una capa en el material la cual evitaría que este entre en contacto con el ambiente corrosivo del medio mediante una adsorción física dado la naturaleza presente en sus dos diferentes terminaciones.

Teniendo en cuenta los compuestos que aún permanecen en la borra después de la producción de café soluble, se han buscado alguna alternativas para el aprovechamiento de este material tales como combustible para calderas, dado su alto poder calorífico [10], materia prima para la obtención de antioxidantes [11], fuente de obtención de polisacáridos con actividad inmune estimuladora [12], producción de biodiesel y pellet fuel [13], obtención de carbohidratos [14], absorbente de colorantes catiónicos en el tratamiento de aguas residuales [15], producción de  $\alpha$ -amilasa [16], sustrato para la obtención de polifenoles [17], entre otros.

## 2. MARCO TEORICO

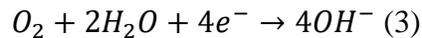
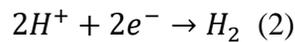
En este capítulo se muestran conceptos fundamentales de temas relacionados con los procesos que involucran esta investigación, a fin de establecer el contexto que permite el desarrollo de la misma.

### 2.1 Corrosión

La corrosión puede ser definida como un proceso de degradación de los materiales, que comúnmente ocurre por acción electroquímica. Este proceso de degradación metálica se genera en el momento en el que un metal se encuentra expuesto a un ambiente corrosivo dando como resultado la pérdida de electrones del metal (reacción anódica).

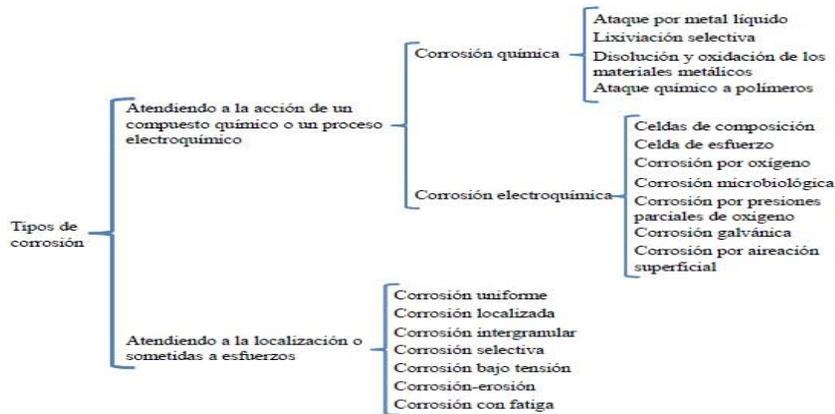


Los electrones producidos son consumidos por reacciones catódicas que se llevan a cabo sobre la superficie metálica, como son la evolución de hidrogeno y la reducción de oxígeno



**Figura 6.**

*Diagrama de los diferentes tipos de corrosión*



**Nota.** Muestra los diferentes tipos de corrosión y motivos por los que se genera Disponible

<http://fpeingenieriaelectronica.blogspot.com/2016/07/> [03-17-2022]

Las diferentes reacciones que se suscitan durante el proceso de corrosión son susceptibles a diferentes factores ambientales como la humedad, la temperatura y la contaminación del aire. El uso al que este sometido el metal, generando que la cinética se vea modificadas provocando un incremento en la velocidad de corrosión.

### **2.1.1 Tipos de corrosión**

#### **Corrosión biológica.**

La actividad de los microorganismos puede provocar de manera directa o indirectamente un deterioro del metal por sus procesos metabólicos. Algunas de las consecuencias de la actividad de este metabolismo podrían ser [32]:

1. Producir un ambiente corrosivo.
2. Crear celdas de concentración electrolítica en la superficie del metal.
3. Modificar la resistencia de las películas superficiales.
4. Tener influencia sobre el índice de reacción anódica o catódica.
5. Modificar la composición ambiental.

#### **Corrosión por erosión.**

Es un ataque dado por la abrasión por la fricción causada por el flujo de líquidos o gases y el metal este tipo de corrosión se da principalmente en bombas y turbinas

#### **Corrosión por ataque selectivo.**

Este tipo se da cuando en una aleación un de sus componentes se ve mas perjudicado que los demás esto ocasiona que el material se debilite el ejemplo más común la eliminación del zinc en aleaciones de cobre-zinc, conocido con el nombre de “dezincificación” [30].

#### **Corrosión Uniforme.**

Este tipo de corrosión ocurre sobre toda la superficie del material de forma uniforme por eso su nombre, la cual va deteriorando completamente el material. Este tipo de corrosión es el que mayor pérdida de material provoca, pero es relativamente fácil de predecir y controlar, por lo que

un accidente producido por este es de rara ocurrencia Este tipo de corrosión se puede evitar o reducir seleccionando el material apropiado o usando un inhibidor de corrosión [30].

### **Corrosión Galvánica.**

Este tipo de corrosión ocurre cuando se presenta cuando se cumplen dos condiciones la primera es que exista una diferencia de potencial entre dos metales por lo general que uno de los dos sea un metal noble de distinta naturaleza química y además que estos estén sumergidos en un electrolito. La diferencia de potencial resulta en un flujo de electrones entre los metales generando un desgaste [30].

### **Corrosión por esfuerzos o bajo tensión (SCC, por sus siglas en inglés: Stress-Corrosion Cracking).**

Ocurre cuando el metal es sometido a un ambiente corrosivo y estrés mecánico en el que ocurre cuando este es sometido a esfuerzo de tensión, ya sea de forma interna o externa, generando pequeñas fisuras, que dan inicio al proceso de corrosión hasta que se libera la tensión o se produce una fractura en el metal. [30].

### **Corrosión intergranular.**

Esta forma de erosión incluye un ataque localizado de los límites de grano y en las áreas adyacentes a el mismo. Provocan a una alteración de aleaciones o metales y por tanto a la pérdida de la resistencia eléctrica. Las impurezas del material, ubicadas en los límites de grano, son las áreas más afectadas por la erosión intergranular [30].

El fenómeno del límite de grano genera una corrosión del grano sensible al calor, por lo que dicha corrosión es un subproducto del tratamiento térmico, como la soldadura o el alivio de tensión, y puede repararse mediante algún tipo de procesamiento, con calor o con aleaciones modificadas [30].

### **Corrosión por exfoliación.**

La corrosión por exfoliación es un tipo de corrosión subsuperficial que empieza sobre una superficie limpia, pero el problema es que se va esparciendo debajo de la misma, se diferencia de la corrosión por picadura en que el ataque tiene una apariencia laminar, las capas completas de

material son corroídas y el ataque es generalmente reconocido por el aspecto escamoso en la superficie.

### **Corrosión Atmosférica**

Es el proceso en el cual un metal se ve afectado por diferentes factores, los cuales generan la corrosión producto, los diferentes elementos que se ven involucrados son:

- Humedad relativa
- Temperatura de la superficie metálica
- Temperatura del ambiente de exposición
- Velocidad y dirección el viento
- Radiación solar
- Presencia de contaminantes

Por lo que habrá ambientes más propensos a presentar estos factores en mayor o menor medida, y estos estarán siendo divididos en:

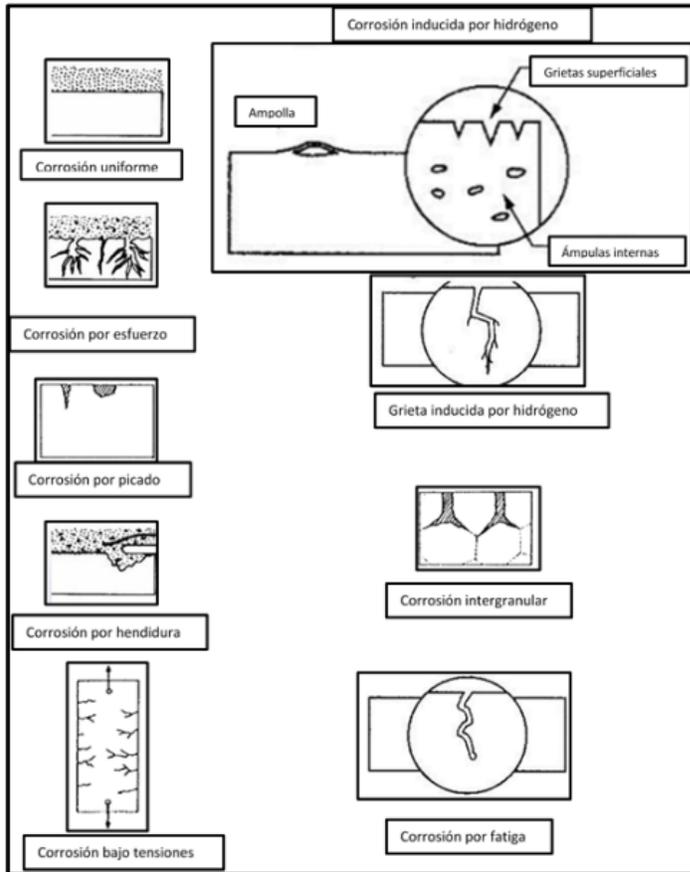
- **Atmósfera Industrial:** caracterizada por la presencia de contaminantes tales como óxidos de nitrógeno, sulfuros, el dióxido de azufre proveniente de la combustión de carbono y otros combustibles fósiles.
- **Atmósfera Marina:** posee una gran cantidad de partículas finas de sal la cual es transportadas por el viento y son depositadas en las superficies metálicas expuestas a esta, su concentración decae en relación a la distancia al océano y es afectada por las corrientes de viento
- **Atmósfera Rural:** no posee algún contaminante químico relevante, pero en caso de estar ubicado en ambientes árido o muy húmedos existiría un ambiente corrosivo
- **Atmósfera Interior** No existe un contaminante típico o condiciones asociadas a esta. Si no existe ventilación, es posible la existencia de humos, que en presencia de la condensación o de alta humedad puede presentarse un ambiente altamente corrosivo

En una primera instancia, al estar sujeto a un ambiente agresivo, es un proceso poco estable estando sujeto a períodos de sequedad y humedad a causa de los cambios climáticos que podrían disminuir o aumentar la velocidad en la que se esté desarrollando la corrosión.

En la siguiente figura, se muestra una representación de los diferentes tipos de corrosión, según la Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos (ASME, por sus siglas en inglés: American Society of Mechanical Engineers) [12]

### Figura 7

*Tipos de corrosión según ASME*



**Nota.** Muestra los diferentes tipos de corrosión identificada por la ASME además de las formas que adoptan. Extraído de: <https://slideplayer.es/slide/17832367/> Acedido [10-05-22]

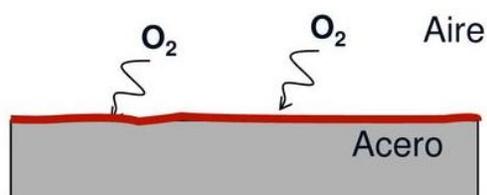
## 2.2 Clasificación por mecanismo de corrosión

### 2.2.1 Corrosión seca

También llamada de oxidación directa, son reacciones de gases con metales a altas temperaturas o de sales fundidas, generalmente la corrosión seca también es denominada como corrosión química porque no se le considera electroquímica

#### Figura 8.

*Corrosion seca*



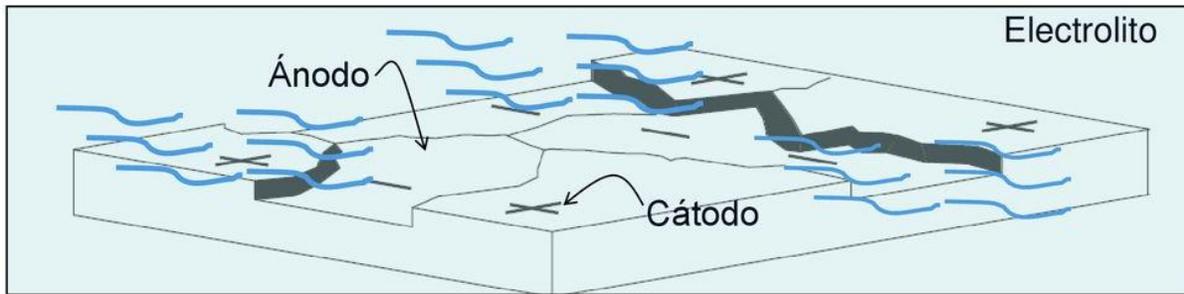
*Nota.* Muestra cómo se genera la corrosión seca en un metal. Disponible en <https://slideplayer.es/slide/17832367/> Accedido [10-05-22]

### 2.2.2 Corrosión húmeda.

También conocida como corrosión electroquímica, se lleva a cabo en un medio líquido o húmedo, se genera sobre la superficie metálica en donde se forman dos reacciones de electrodo, que ocurren en lugares diferentes, ánodos y cátodos locales

## Figura 9.

### *Corrosion Humeda*



**Nota.** Muestra el proceso por el cual se genera la corrosión húmeda Disponible en <https://slideplayer.es/slide/17832367/> Accedido [10-05-22]

Algunas diferencias entre ambas, son los mecanismos que suceden en ellas, en particular la naturaleza electroquímica de las reacciones que ocurren

- Los estados iniciales de reacción, que envuelven la adsorción de especies químicas sobre la superficie del metal.
- Los fenómenos de nucleación y crecimiento de las capas de óxido y otros compuestos.

La corrosión de materiales metálicos es generalmente perjudicial, pero puede ser prevenida, sin embargo, debe ser bien entendida y controlada, para que se aplique de una manera constructiva en la construcción de patrones electroquímicos sobre el metal, como también sobre superficies semiconductoras [32]

### **2.2.3 Corrosión dulce**

El deterioro del metal debido al contacto con dióxido de carbono o con agentes corrosivos similares, pero excluyendo el ácido sulfhídrico.

Se genera en pozos de condensado de gas, la corrosión dulce tiene una apariencia de picaduras profundas dentro de las paredes de las tuberías. Las picaduras se producen sólo a profundidades donde el gas entra en contacto con gotas de agua condensada.

## **2.3 Recubrimientos protectores**

Son sustancias que se usan para aislar el metal del medio agresivo dependiendo de su composición estos se dividirían en los siguientes grupos.

### ***2.3.1. Recubrimientos no metálicos***

Se incluyen las pinturas, barnices, lacas, resinas naturales o sintéticas. Grasas, ceras, aceites, los cuales son empleados durante el almacenamiento o transporte de materiales metálicos ya manufacturados y que proporcionan una protección temporal a el viaje desde la fábrica hasta su instalación.

### ***2.3.2 Recubrimientos orgánicos de materiales plásticos***

Los Esmaltes vitrificados, este tipo de esmaltes se caracterizan por el uso de un recubrimiento a base de boro o algún silicato durante la fabricación del material durante la fundición del material, una vez aplicado posee la cualidad de brindar resistencia a la intemperie, al calor y a los ácidos. Suele ser usado en productos de la cocina como ollas o sartenes por dicha cualidad.

El acero vitrificado combina las propiedades de resistencia mecánica y estabilidad dimensional, propias del acero con la inmejorable estabilidad y resistencia del esmalte vítreo frente a las más adversas condiciones ambientales algunas cualidades que posee son:

- Material antivandálico es decir un muy difícil de rayar.
- Ignífugo
- Impide el desarrollo de moho o bacterias

### ***2.3.3 Recubrimientos metálicos***

Consiste en cubrir un metal con otro de menor o mayor valor económico, suele usarse el níquel, cinc, cobre, cadmio, estaño, cromo o aleaciones de acero inoxidable [30]

Esto permitirá que los metales sean mucho más resistentes, en especial si van a ser usados en ambientes de trabajo extremo.

El recubrimiento metálico tiene como objetivo proveer una protección extra para las estructuras y las piezas de metal, sobre todo cuando van a estar sometidas a condiciones extremas de

desgaste, tales como el calor, los esfuerzos mecánicos e incluso los rozamientos con otras piezas de la construcción.

Para lograr proteger a los metales con este tipo de recubrimientos, se usan diversas técnicas de inmersión del metal en otro producto. La fundición es una de las técnicas más populares y usadas para el recubrimiento, ya que en esta se funde el material que va a servir de capa protectora para el hierro, una tarea que da como resultado una cobertura uniforme y muy efectiva.

#### ***2.3.4 Inmersión en metales fundidos***

Aplicaciones de Zinc (galvanización en caliente), aluminio (aluminizado), y otros metales como cromo o molibdeno. Para llevar a cabo las acciones anteriores, se debe tener en cuenta el estado de la superficie a proteger, cuya selección incluye: un adecuado tratamiento de limpieza mecánica, desde chorreado, arenado, hasta limpieza química. O electroquímica, como baños ácidos. con o sin corriente. La pintura se selecciona según el tamaño de los objetos y la extensión de la superficie a pintar. Tanto la naturaleza como el espesor del metal son una función de varios factores, el más importante de los cuales es el precio.

Asimismo, es muy importante conocer con la mayor precisión posible el entorno al que estará expuesta la pieza. Para el medio natural conviene averiguar si el medio exterior (y en este caso es útil saber el tipo de ambiente: rural, urbano, industrial, marino, etc.) (Aire acondicionado, calentador, etc.). Para los entornos diferentes a los naturales, es preciso conocer la mayor información posible sobre la composición química del medio, impurezas eventuales, estado físico y temperatura. Los procedimientos de aplicación son de suma importancia en cuanto a la eficacia de la protección contra la corrosión, pues tanto el espesor, porosidad, como la naturaleza misma de las capas obtenidas son función del procedimiento de aplicación inmersión, esperado, electrólisis, placado [9]

#### **2.4 Inhibidores de la corrosión**

Varios métodos han sido empleados para el control de la corrosión, siendo el uso de inhibidores de la corrosión uno de los más valorados debido a su buena eficiencia para mitigar el proceso corrosivo [18-19]. Un inhibidor de la corrosión se puede definir como un compuesto que al ser agregado disminuyen la velocidad de corrosión sin modificar el medio y sus propiedades al que es

aplicado [20]. Estos compuestos son clasificados de diversas formas, una de ellas está en función de su fuente de obtención que los clasifica como inorgánicos y orgánicos.

Los inhibidores inorgánicos son compuestos que no poseen carbono o níquel y son fabricados a partir de productos sintéticos. Este tipo de inhibidores suelen tener ciertas desventajas al momento de su aplicación, tales como baja eficiencia en la reducción de la corrosión, bajas tasas de descomposición y niveles de toxicidad altos. Los inhibidores orgánicos por su lado son sustancias que contienen carbono o níquel en su estructura y pueden ser elaborados a partir de fuentes naturales como residuos agrícolas, frutas, semillas, extractos de plantas, otras cosas, etc. Las principales ventajas de los inhibidores naturales son los bajos costos de producción, el alto rendimiento en el control de la corrosión, las altas tasas de degradación y la toxicidad casi nula o baja.

El mecanismo de protección de un inhibidor sobre el metal que es expuesto a un medio corrosivo se da por la adsorción de sus moléculas. En dónde las moléculas del inhibidor remplazan a las moléculas de agua que se encuentran absorbidas sobre la superficie metálica [21].

La interacción entre las moléculas del inhibidor y la superficie del metal puede llevarse a cabo de dos maneras diferentes, una ocurre por medio de atracción electrostática en la cual intervienen fuerzas de Vander Walls, dipolo-dipolo, este tipo de interacción se conoce como adsorción física o fisorción. El otro mecanismo es conocido adsorción química o Quimi sorción, en este caso la interacción metal-inhibidor se da por medio de los electrones presentes en la parte polar del inhibidor y la superficie metálica. Otra característica esencial con la que cuentan algunos inhibidores es su capacidad de repeler al electrolito debido a sus propiedades hidrofóbicas, lo cual los hace actuar como una barrera entre los iones agresivos y la superficie del metal.

#### ***2.4.1 Clasificación de los inhibidores de corrosión***

Dependiendo del método en que los inhibidores efectúen su función se podría clasificar en

- **Inhibidores neutralizadores:** Su función principal es la de reducir la concentración de ácido o base en el medio son llamadas soluciones comúnmente como soluciones amortiguadoras.

Las soluciones amortiguadoras capaces de resistir cambios en el pH, son indispensables para mantener estable la concentración de iones hidrógeno  $H^+$  de tal forma que no perjudique los

componentes en los que este. En el momento en que hay demasiados iones  $H^+$ , en una solución amortiguadora absorberá parte de ellos, subiendo el pH y normalizándolo en el caso de generar lo opuesto es decir cuando hay muy pocos, la solución amortiguadora aportará algunos de sus propios iones  $H^+$  para reducir el pH volviéndolo a normalizar. Las soluciones amortiguadoras consisten generalmente de un par ácido-base, cuya diferencia radica en la presencia o ausencia de un protón es decir un par ácido-base conjugado. [25]

- **Inhibidores secuestrantes:** En diversos sistemas existen compuestos corrosivos en pequeñas cantidades, que pueden ser removidos con una especie en específico con la cual tienen la propiedad de poder asociarse para formar complejos, los cuales se mantienen solubles e inoocuos. Estos compuestos son capaces de ligar iones metálicos y los fijan por una unión coordinante, con lo que se evita que la sustancia se precipite y causen reacciones oxidativas. Como por ejemplo la hidracina, su uso es el de actuar como un agente que atrapa las partículas de agua de calderas generando así una disminución en la corrosión de la misma al reducir la cantidad de otras sustancias químicas y para iniciar o acelerar reacciones químicas.
- **Inhibidores misceláneos:** son compuestos biocidas, es decir sustancias tóxicas que afectan la integridad de cualquier microorganismo se emplean en gran medida en la industria petrolera por la contaminación bacteriana, que se genera naturalmente en los hidrocarburos. Los biocidas se utilizan para poder controlar las bacterias reductoras de Sulfatos, las bacterias formadoras de limo, las bacterias oxidantes de Hierro y las bacterias que atacan los polímeros en fluidos de completamiento y de reacondicionamiento. Las soluciones de biocidas reducen la corrosión inducida por bacterias y se recomiendan en fluidos de perforación, completamiento y reacondicionamiento a base de agua. Son efectivos contra las bacterias reductoras de Sulfatos, las bacterias oxidantes de Hierro y las bacterias formadoras de limo.

Los biocidas empleados normalmente utilizados son glutaraldehído (Glut), THPS, BAC y cocodiamina su método de funcionamiento es sencillo, los componentes penetran destruyendo los sistemas que permiten vivir al microorganismo, provocando la lisis de la pared proteica o lipoproteica del organismo y ingresando en su interior interrumpiendo las reacciones bioquímicas que sustentan la vida en el organismo.

2.4.1.a Inhibidores Pasivadores. Son compuestos que forman una película en la superficie del metal que está en un proceso de corrosión. Consiste en recubrir el metal con una fina capa de

óxido para que no se corroa. Existen metales como el Aluminio que al contacto con el aire son capaces de generar espontáneamente esta capa de óxido y por lo tanto, se hacen resistentes a la corrosión. Aun así, la capa de óxido que recubre al metal no puede ser cualquiera. Tiene que ser adherente y muy firme, ya que de lo contrario no serviría para nada. Por ejemplo, el óxido de hierro no es capaz de proteger al hierro, porque no se adquiere a él en la forma requerida. Hay tres tipos en esta categoría:

2.4.1.b Inhibidores pasivadores y oxidantes (medios neutros). Estos inhibidores se utilizan en soluciones acuosas en el rango neutro y funcionan al desplazar el potencial electroquímico de un metal corroído a un área en la que se forma un óxido o hidróxido insoluble estable, lo que ayuda a mantener la protección de la superficie del metal; El único requisito para la pasivación es que el potencial del metal se aplique y estabilice en un área con una densidad de corriente muy baja. Este requisito para la reacción de electroforesis catódica se puede cumplir proporcionando el consumo de electrones, causado por la reducción de un agente químico oxidante, denominado agente químico de pasivación.

2.4.1.c Inhibidores catódicos formadores de películas. El proceso de galvanizado es una técnica que se usa para proteger el acero de la corrosión desde hace más de 250 años [33]. La corrosión la causa una tendencia inherente de los metales cuando son sometidos al aire y a la humedad, que tienden a volver a un estado menos energético a su estado original, este proceso consta en adherir un metal que sirva como escudo frente a la corrosión.

- **Inhibición con sales de zinc:**

El proceso de galvanizado puede ser en caliente, por inmersión o al fuego. Consiste en introducir piezas de acero en zinc fundido, a una temperatura aproximada de 450°C hasta lograr un recubrimiento de 7-42 micras (recubrimiento bajo, regulado por la norma ASTM A123) o de 45-200 micras (de alta duración, regulado por la norma ASTM A123). Al alearse metalúrgicamente el zinc con el acero, se crea una capa que tiene una gran adherencia, muy resistente a los golpes y de gran dureza, especialmente indicada para su uso en el exterior y en ambientes húmedos o corrosivos. Comúnmente a este proceso es conocido como el galvanizado en frío, Actúa precipitando las sustancias insolubles producidas por el álcali, reduciendo la acidez.

El proceso se da por la electrodeposición, es un tratamiento electroquímico en donde se agregan los cationes metálicos contenidos en una solución acuosa para ser sedimentados sobre un objeto conductor creando una capa. El tratamiento usa una corriente eléctrica para reducir la extensión del cátodo en los cationes contenidos en una solución acuosa. Al ser reducidos los cationes precipitan sobre la extensión generando una película fina

- **Inhibición del carbonato de calcio:** Algunos metales como el plomo, zinc y cobre, pueden formar una capa de carbonato de calcio insoluble, carbonato básico, óxido o hidróxido, minimizando las tasas de corrosión, y la disolución de estos metales. En aguas con baja alcalinidad, el ión carbonato debe agregarse para formar estos carbonatos insolubles bicarbonato de sodio ( $\text{NaHCO}_3$ ) son generalmente los químicos preferidos y usados para ajustar el pH.

Existen medios que por su composición la hace idónea para la formación del carbonato de calcio la cual es en agua con alto contenido de oxígeno o dióxido de carbono libre y en presencia de sales, conocida como agua dura presente en pozos petroleros o en aguas de desecho industria, la cual es más corrosiva que el agua convencional esto debido por el composición de la misma, cuando la pieza este en contacto de esta solución en la superficie del metal se empezaría a formar una capa de las sales insolubles dado que estas tienden a formarse sobre la superficie galvanizada por la interacción de las moléculas en condiciones de dureza moderada o alta del agua.

- Existen cuatro mecanismos por los cuales el carbonato de calcio se acumula en las superficies metálicas:
- . Puntos calientes: Los puntos calientes de una superficie metálica pueden dar lugar a la formación de burbujas. Al formarse burbujas, las sales en el agua circundante se concentran y puede ocurrir una precipitación.
- . Efecto de los iones hidróxido iones presentes en el agua con una composición de oxígeno o dióxido de carbono alcanza el límite de solubilidad que tiene el agua para mantenerlos en solución, de esta manera se unen y se precipitan formando depósitos sólidos, al tener agua super saturada de iones positivos y negativos, al estar en permanente contacto y movimiento, tenderán a atraerse y unirse

- Efecto de la temperatura: un incremento en la temperatura es uno de los factores controlantes que contribuyen a la precipitación de carbonatos de calcio generando la separación del dióxido de carbono del carbonato generando la formación de calcio.
- Cambio de presión: el recubrimiento galvánico se va perdiendo (empieza la oxidación y la corrosión del material, se empieza a producir desprendimiento), permitiendo la formación del carbonato de calcio.

2.4.1.d Inhibidores orgánicos de adsorción (medio ácido). La capa de óxido que se forma naturalmente en los metales, es removida con una solución ácida, quedando naturalmente la superficie metálica en contacto con el electrolito ácido, esto da lugar a la formación de una doble capa en el plano donde los dos medios se unen; de una manera más simple, la doble capa eléctrica puede considerarse como una capa difusa externa y una capa interna, mejor definida. La capa difusa consiste en una atmósfera iónica, en la cual, los iones con un polo determinado, están en exceso con respecto al volumen de la solución; mientras que los del signo opuesto están en deficiencia. La capa interna de la doble capa es uno o dos diámetros moleculares de espesor, aquí los iones son específicamente adsorbidos y se asume que, formando una mono capa con sus centros en el plano interno de la capa definida, mientras que los iones no específicamente adsorbidos permanecen en el lado del electrolito en el plano externo.

2.4.1.e Inhibidores verdes. Las soluciones ácidas son ampliamente utilizadas para la limpieza y desincrustación de maquinaria industrial de metal. La elección del inhibidor para el sistema depende del tipo y concentración del ácido, la temperatura, la velocidad de la solución, el solvente elegido y el tipo de sustancia metálica a limpiar [31]. En medio ácido, el principio activo suele estar formado por compuestos orgánicos, la composición química de la molécula juega un papel importante en su efecto inhibitorio, que es el principal factor característico de los mismos, aunque no es sólo este parámetro el que determina su uso. Un inhibidor efectivo debe ser suficientemente soluble en el medio especificado. Los inhibidores orgánicos que cumplen con este requisito pueden ser muy efectivos en concentraciones muy bajas, con una saturación mínima de la superficie del metal.

Numerosos compuestos orgánicos presentan inhibición, particularmente aquellos que contienen algún elemento del grupo 6 y 7 de la tabla periódica, tales como el nitrógeno, fósforo, arsénico,

azufre, oxígeno y selenio. Uno de los principales problemas con los inhibidores orgánicos sintéticos es el grave problema ambiental que generan como los son: su toxicidad afectando el sistema neuronal o problemas en el sistema endocrino, biodegradación o bioacumulación su duración en el ambiente puede llegar en algunos casos puede llevar años hasta su degradación a compuestos más simples.

El aumento en el interés por el ámbito ambiental ha generado regulaciones ambientales estrictas, por lo que los investigadores han centrado su atención en materiales y procesos ecológicos más amigables. Los productos naturales extraídos de fuentes vegetales y algunos compuestos orgánicos no tóxicos que contienen moléculas polares como el nitrógeno, oxígeno o átomos de azufre en sus moléculas han sido utilizados con eficacia para inhibidores en varios sistemas de corrosión [31]. Recientemente los extractos de plantas han sido vistos como una buena fuente de compuestos químicos naturales que por un procedimiento simple y de bajo costo pueden ser extraídos para funcionar como inhibidores por la naturaleza de su estructura química.

Los principales tipos de adsorción de inhibidores orgánicos y la superficie metálica pueden ser clasificados en tres tipos:

- **Fisisorción:** La fisisorción o también conocida como adsorción física se basa en las fuerzas de Van der Waals (fuerzas intermoleculares). Estas son fuerzas de estabilización molecular también conocidas como atracciones intermoleculares o de largo alcance y son las fuerzas entre moléculas

La fuerza de van der Waals es débil en comparación con los enlaces internos que unen la molécula ya que dependen exclusivamente del tamaño y forma de la molécula pudiendo ser de atracción o de repulsión, Son tan débiles que no se las puede considerar un enlace, como el enlace covalente o iónico, solo se las considera una atracción.

Para tener una idea de la poca fuerza que tienen, si un enlace covalente tuviera una fuerza de 100, las de Van der Waals serían de valor 1 (100 veces menor).[33]

Este tipo de adsorción se ve sujeta al centro activo del material es decir a los huecos o espacios que están en el material, estos centros activos ayudan a la generación de este tipo de interacción entre el soluto y el material. La agrupación que se genera es una multicapa del soluto agrupándose poco a poco. Un factor importante sobre este tipo de unión son las

temperatura y presión a la que esté sometido dado que este tipo de unión se da a temperaturas bajas, donde las moléculas poseen un grado de excitación lo suficientemente baja para poder establecerse en la superficie en caso de no cumplirse la fisisorción no se cumpliría

Dentro de los inhibidores es característico que, en las moléculas orgánicas cargadas, como los aniones y cationes; Es el resultado de la atracción entre minerales y las especies orgánicas. Un buen ejemplo de un inhibidor de aniones es un ácido orgánico. En una solución acuosa, estos compuestos se disuelven para dar aniones orgánicos.

- **Quimi sorción:** La Quimi sorción, también conocida como la adsorción química, se produce debido a fuerzas de los enlaces entre el componente y el metal, son mucho más fuertes debido al tipo de enlaces que se forman que son de tipo covalentes. Es mucho más lenta que la adsorción física y comúnmente es irreversible. La velocidad de adsorción puede relacionarse con la energía de activación para el proceso debido a que la Quimi sorción es una reacción química, por lo cual sigue todas las leyes cinéticas que conocemos, estos modelos matemáticos son llamadas como isothermas de adsorción.

Las isoterma de adsorción, son modelos matemáticos que ayudan a la descripción del mecanismo de adsorción entre las moléculas del inhibidor sobre el metal en función de su concentración. Dada la complejidad de los mecanismos de inhibición en diversos medios, se han desarrollado diversas modificaciones a modelos ya existentes de isothermas de adsorción Una gran variedad de compuestos han sido estudiados bajo el modelo Langmuir, que supone la adsorción de moléculas en forma de monocapa [41]. La correlación es obtenida al graficar el valor de la concentración sobre el grado de cobertura respecto a la concentración.

$$\theta = \frac{K \cdot C}{1 + (K \cdot C)} \quad (4)$$

Donde:

$K$  = Constante de equilibrio;  $C$  = Concentración en el equilibrio de adsorción;

- **Interacción con el orbital pi:** este tipo de adsorción se debe a la interacción del orbital pi y los átomos de la superficie del metal.

El efecto del orbital pi es observado en compuestos alifáticos tales como el etileno y compuestos como el benceno, que exhiben un doble enlace. Entre más grande sea el número

de enlaces, más efectivo es el inhibidor. Hay dos teorías que explican los mecanismos de acción para la inhibición en medios ácidos, son: Mecanismo de inhibición por bloqueo: los compuestos adsorbidos interfieren físicamente con el transporte de masa de los reactivos y productos hacia la superficie metálica. En este mecanismo el enlace entre el inhibidor y el metal es menos importante que otras propiedades relacionadas a la estructura molecular del inhibidor orgánico. De esta manera el área proyectada por la molécula adsorbida en la superficie metálica, es una medida verdadera de la habilidad del compuesto para cubrir la superficie. Mecanismo por energía: las moléculas orgánicas que exhiben una carga, dependen para su adsorción del signo y magnitud del potencial de adsorción en la capa exterior. El mecanismo de energía está basado en la alteración del potencial para diferenciarlo del potencial de adsorción en ausencia de un inhibidor [32].

## **2.5 Restricciones ecológicas de los inhibidores**

Existe una creciente preocupación por la toxicidad, la biodegradación y la acumulación de inhibidores de la corrosión que se liberan al medio ambiente. Un claro ejemplo son las plataformas petrolíferas, donde se vierten al mar fluidos inhibidores que envenenan a las especies marinas. Los inhibidores comunes como el cromato de potasio ( $K_2CrO_4$ ), el molibdato de sodio ( $Na_2MoO_4$ ) y el tungsteno de sodio ( $Na_2WO_4$ ) pueden ser efectivos contra la corrosión, pero el impacto ambiental no se comprende completamente [30]. Las normas modernas de carácter ecológico exigen la disposición de residuos para evitar la contaminación ambiental; Este es el caso, por ejemplo, de los inhibidores más habituales en los circuitos frigoríficos: polifosfatos, cromatos, sales de zinc. Se sabe que, debido a su toxicidad, los cromatos no deben ser liberados a los cursos de agua. Recientemente, por diversas razones, también ha habido una tendencia a reducir la excreción de polifosfatos, especialmente por sus efectos nutricionales sobre algunos microorganismos. El zinc también es perjudicial para algunos tipos de peces, a 1 mg / litro, aunque el agua potable permitida es de 5 mg / L. A continuación, algunos ejemplos de operaciones se mencionan en consecuencia. Se puede eliminar o cambiar del uso y uso de inhibidores de la corrosión.

- Los cromatos pueden eliminarse por reducción con sulfato ferroso, ácido sulfuroso o sus sales, seguida de la separación del hidróxido crómico resultante, pueden eliminarse también por intercambio iónico.[31]

- Las polifosfatos pasan fácilmente a fosfatos en las plantas de aguas residuales, éstos se retienen en flóculos o lodos activados, por precipitación con cal, alumbre o sales de hierro, o por adsorción sobre alúmina activada. [31]
- El zinc se adsorbe fácilmente con carbonato de calcio, de forma que su eliminación no parece ofrecer dificultades.[31]

En ocasiones, para no tener que recurrir a la eliminación de residuos, es necesario intentar reducir al mínimo el proceso de depuración. Este procedimiento requiere un enriquecimiento gradual de solutos cíclicos en solutos, lo que supone un aumento paralelo de su luz. Esto genera preocupaciones de que, si bien en ocasiones es difícil evitar recurrir a la eliminación de desechos, se están haciendo esfuerzos para minimizar las purgas. Este procedimiento conduce a un enriquecimiento gradual de las sustancias cíclicas en solutos, lo que supone un aumento paralelo de su agresividad. Por lo tanto, se teme que, a pesar del uso de inhibidores, el grado de erosión sea mayor solo en ausencia de tratamiento, cuando la tasa de purificación es suficiente.

## **2.6 Método Gravimétrico: medida de la pérdida de peso**

Esta técnica, es la más común dentro del monitoreo de la corrosión, a pesar de tener el inconveniente de requerir largos periodos de exposición, sus resultados son muy específicos y de bajo costo. Se aplica para determinar el daño por corrosión que se puede presentar en un equipo y evaluar las alternativas de materiales de construcción [30]. Para evaluar la velocidad de corrosión se aplica la siguiente ecuación } }

$$V_c = \frac{\Delta m}{t} \quad (5)$$

Donde  $V_c$ : Velocidad de corrosión (gr/h),  $\Delta m$  : Masa final – masa inicial (gr)

## **2.7 Procesos de extracción**

El tipo de metabolito a separar es muy importante a la hora de elegir la técnica adecuada para la elaboración del extracto. Siempre es recomendable, consultar la bibliografía, como libros,

publicaciones, revistas y otros medios para conocer los medios de obtención y secuestro de metabolitos, que son pautas para la selección de disolventes. su uso Idealmente, debe tener las siguientes características: metabolitos secundarios solubles, fácil de remover, inerte, no tóxico (en la medida de lo posible), poco flamable; o al menos la mayoría de ellas [31].

### **2.7.1 Destilación**

La destilación, consiste en la separación de los componentes de una muestra en función de la diferencia de presión de vapor y punto de ebullición. [25]. El punto de ebullición, es conocido a la temperatura de un líquido, a una determinada presión el cual empieza a cambiar de una fase líquida a una gaseosa, o cuando la presión del líquido a esta temperatura es igual a la presión del gas. Una mezcla de componentes no tiene un punto de ebullición, sino un rango. Los distintos aceites esenciales tienen gran variedad de composición y puntos de ebullición, y la destilación se lleva a cabo en función de ello. Los distintos aceites poseen puntos de ebullición específicos, por lo cual la destilación de los mismos ocurre en un rango de temperaturas que suele oscilar entre los 150 y los 300 °C. Cuando la destilación separa los componentes dando lugar a dos fases no miscibles se llama hidrodestilación, y se llevará a cabo en destilador de cristal cuando el peso de la muestra sea inferior a 1 kg (a escala de laboratorio) y en caldera de acero inoxidable cuando sea superior

Procesos de obtención de extractos vegetales: Entre los procesos de extracción de los diferentes fitoquímicos, aceites esenciales, etcétera, destacan las nuevas tecnologías de extracción entre las que se encuentra la extracción en fluidos supercríticos (EFS). Pero todavía, a menudo, se utilizan otros procesos extractivos más convencionales, como los de arrastre de vapor, los de extracción por solución y los de extracción por centrifugación. [26]

2.7.1.a Extracción sólido – líquido. Cuando se trata de una muestra sólida, se tritura y luego se extraen los analitos utilizando un disolvente en el que sean altamente solubles, distinguiéndolos de los de la matriz, y por tanto no todos disueltos en el mismo disolvente. Por lo general, se realiza mediante agitación, calor o ultrasonido para aumentar la efectividad. Se suele expulsar después de la extracción para eliminar los sólidos que puedan quedar.

#### 2.7.1.b Extracción Soxhlet

- Consiste en extraer la sustancia de interés a través de una muestra líquida utilizando una fase acuosa que contiene un solvente inmiscible, como un solvente orgánico. El PH es muy

importante para lograr un buen rendimiento. Se utiliza una columna o cartucho capaz de almacenar dicha sustancia de extracción en fase sólida, que luego se extrae con una pequeña cantidad de solvente el método es comúnmente llamado Soxhlet, llamado así por el inventor Franz von Soxhlet [35].

El proceso de extracción Soxhlet se basa en los siguientes pasos: depositar el solvente con perlas de ebullición en un valor aforado, calentar mediante una plancha hasta que el solvente alcance su temperatura de ebullición, el vapor será luego condensado y caerá en la materia prima, a medida que pase el tiempo la solvente ira acumulándose hasta alcanzar la cantidad mínima para retornar al balón el cual luego será destilado finalizando el proceso. para la elección del disolvente se escogerá dependiendo de varios factores como:

- Pureza del solvente.
- El punto de ebullición del disolvente
- Seguridad del solvente utilizado (como toxicidad, flamabilidad).
- Compatibilidad del solvente con el instrumental analítico
- Resistencia del solvente (como polaridad, solubilidad de los compuestos de interés).
- Tendencia del solvente y de la matriz a formar emulsiones.

Desde 1879, el sistema de extracción Soxhlet ha sido una alternativa de extracción sólido – líquido, este sistema disminuye el tratamiento previo la materia prima y posteriormente del material obtenido. Este método ha ido tomando nuevas modificaciones para mejorar en la extracción del material de interés, como usando alta presión, ultrasonido y microondas, lo que permite el análisis de la eficiencia de extracción. Descubrieron que en realidad acelera la extracción del extracto aumentando la presión o con la ayuda de energías auxiliares como microondas y ultrasonido.

## **2.8. Clasificación de los aceites esenciales.**

Los aceites esenciales pueden ser clasificados mediante tres criterios diferentes: consistencia, origen y naturaleza química de sus componentes más abundantes.

### ***2.8.1. Clasificación según su consistencia.***

- Esencias fluidas: sustancias líquidas con una volatilidad a temperatura ambiente extremadamente alta ejemplos de estas son las esencias de limón, romero, menta. [30]
- Bálsamos: sustancias de consistencia más espesa tienen una volatilidad menor está conformada por sesquiterpenoides y son propensos a polimerizarse, ejemplos de este tipo son los bálsamos de Perú, Bálsamo de tolú, Bálsamo de el salvador, Bálsamo de acre, etc.
- Oleorresinas: sustancias con una apariencia semisólido, líquida o semi sólida, las oleorresinas son extractos de especias las cuales son obtenidas mediante el tratamiento de estas con algún solvente el cual se elimina completamente por el uso de la destilación al vacío, la destilación azeotrópica. Las oleorresinas son usadas comúnmente a nivel industrial en la parte alimenticia, o la farmacéutica sustituyendo las tinturas. Los aceites esenciales contenidos son aceites fijos, los colorantes y los principios activos de la planta.

Los solventes usados para la extracción de las oleorresinas deben estar avalados por la legislación nacional sobre aromas y alimentos. En la mayoría de los países se permite el uso de acetona, etano, hexano y alcohol isopropílico pero los solventes clorados poseen una serie de restricciones.

Una práctica común es la de adicionar un aceite esencial o aceite vegetal comestible cuyo propósito es el de reconstruir el aroma y sabor presentados en el vegetal para la satisfacción del consumidor, se usa en la industria de alimentos, pero en caso de hacerse usado debe de estar expresada en la etiqueta del producto.

- Concretos: Se obtienen de plantas aromáticas para su extracción son necesarios de solventes apolares. Su constitución es de compuestos apolares y no poseen compuestos hidrosolubles, Poseen una apariencia semi sólida, se obtiene de flores y pero también se pueden obtener de hojas de plantas herbáceas.

Durante el proceso de recolección de las plantas estas sufren un proceso de degradación la cual afecta el olor que ellas desprenden por tanto una vez las plantas son recolectadas se deben de procesar de manera inmediata.

El uso de un solvente apolar e insoluble en agua se basa en la cantidad de agua presentes en la planta, las flores poseen alrededor de 80 a 90% y las hojas entre un 60 a 80%. En caso de lo contrario el agua podría disolverse en el mismo modificando su polaridad y la propiedad de disolver los componentes volátiles. Los solventes más usados son el hexano y el éter de

petróleo, por su punto de ebullición inferior a los 80°C . El proceso usado es la maceración, que se realiza a temperaturas inferiores al punto de ebullición del solvente.[42]

El concreto resultante contiene no solamente la porción odorífera de la planta, sino también las ceras vegetales, aceites fijos y colorantes.

- Absolutos: Debido a la naturaleza no polar de los aceites de hormigón, es necesario convertirlos en aceites absolutos para aumentar su solubilidad en las raíces polares. Por lo tanto, se extrae con etanol absoluto y luego se liofiliza a baja temperatura entre -5 a -10°C en donde a estas temperaturas es posible que se genere una precipitación de las ceras, lo que facilitará la separación por filtración.[42]

#### 2.8.1.a Clasificación según su origen.

- Naturales: extracción directa de la planta, no son sometidos a ningún tipo de tratamiento en particular que altere su composición física o química.
- Artificiales: Son obtenidos mediante la mezcla de dos o más esencias naturales provenientes de distintas plantas o por enriquecimiento de una esencia con uno de sus mismos compuestos, Son más económicos y por lo tanto su uso es mayor en la preparación de las sustancias aromatizantes y saborizantes como por ejemplo en la esencia de vainilla o fresa.
- Sintéticos: varios productos obtenidos mediante procesos químicos son mezclados con el fin de obtener sustancias saborizantes y aromatizantes a un precio más bajo.

2.8.1.b Clasificación según su naturaleza química. Según la estructura química de los componentes mayoritarios se genera algún tipo de característica como un olor en particular, estos se dividen en tres grupos principales:

- Compuestos oxigenados Elementos conformados por una gran cantidad de fenilpropanos los cuales poseen diferentes compuestos oxigenados aldehídos, cetonas, alcoholes, esterés este tipo de aceites son utilizados como componentes para aceites caros algunos ejemplos de este tipo de compuesto son la canela, anís, lavanda y rosas.
- Mono terpenoides Grupo caracterizado por la presencia de mono terpenos  $C_{10}H_{16}$  y mono terpenoides  $C_{10}H_{18}$ ,  $C_{10}H_{20}$ ,  $C_{10}H_{20}O$  ejemplos de estos son el aceite de romero, menta, salvia, y hierba buena

- Sesquiterpenoides Compuestos sesquiterpenos  $C_{15}H_{24}$  y sesquiterpenoides  $C_{15}H_{26}$ ,  $C_{15}H_{26}O$  ejemplos de estos son aceites de pino y ciprés,

## 2.9 Técnicas para la obtención de extractos

Debido a la versatilidad de aplicaciones y al gran interés por los extractos de plantas, se han utilizado diversos mecanismos de extracción de forma sintética, ya sean físicos o químicos. El uso de cada método depende en gran medida de la naturaleza del material vegetal, la estabilidad del aceite que contiene y la disponibilidad del material. A continuación, se muestran los tipos de extracción más utilizados.

### 2.9.1. Métodos directos.

Son métodos usados para aceites presentes en las cáscaras de fruta, con baja estabilidad térmica y de fácil extracción por medio de la aplicación de fuerza mecánica. Por lo general estas características las presentan aceites de cítricos.

### 2.9.2. Destilación.

Un método ampliamente utilizado en el cual se aplica calor y por el cual se separa el compuesto en una mezcla homogénea basado en la diferencia en los puntos de ebullición de estos compuestos. En general, el equipo requerido para tal proceso es simple, todo lo que se necesita es una fuente de alimentación, un alambique y un intercambiador de calor.

2.9.2.a Destilación por arrastre de vapor. La destilación por arrastre con vapor de agua, es el proceso por el cual se busca obtener los aceites esenciales de las plantas, pero esta no es aplicable a flores. En esta técnica busca aprovechar la propiedad que tienen las moléculas de agua en estado gaseoso, buscan asociarse con moléculas de aceite. La extracción se efectúa cuando el vapor por presión entra en contacto con las células de las partes de las plantas y las rompe liberando la esencia y atrapándola en las gotas de agua del vapor que luego se condensa en el destilador

El vapor de agua penetra en los tejidos del material vegetal y vaporiza la mayoría de las sustancias volátiles, para asegurar una mayor superficie de contacto es necesario moler las fibras vegetales según su consistencia. Las flores y hojas formadas de consistencia no fibrosa no requieren de ser molidos, flores, hojas, tallos y raíces de materiales fibrosos se requiere de este proceso, es

necesario establecer que durante el proceso de molienda se pudo haber generados pérdidas ocasionadas por el calor generado al proceso en sí. [42]

Las ventajas que se pueden identificar del uso de este método son: un método comercial viable esto debido a la escala, los resultados son más constantes y reproductivos, Energéticamente es más eficiente y este método es bastante voluble según las necesidades que se requieran en el momento en caso de trabajar con aceites con componentes volátiles altos o con componentes volátiles bajos se emplearía un cambio de presión según el caso, para los primero sería una presiones bajas y en el caso del segundo usar presiones altas.

2.9.2.b. Hidrodestilación. El método consiste en poner a hervir agua (por fuego directo, camisa de vapor o camisa de aceite), en donde se habría sumergido previamente el material vegetal (preferiblemente en polvo, dado que el vapor del líquido ejerza su acción en el mayor número posible de partículas vegetales), de tal manera que el vapor producido arrastre los aceites esenciales presentes en las plantas, a través de un conducto (cuello de cisne), hasta otro recipiente donde se condensan el vapor de agua con el aceite. El aceite, que es inmisible en agua, se separa), utilizando un decantador

Los problemas del uso de este método es que la temperatura que se emplea provoca que algunos compuestos presentes en las plantas se degraden y se pierdan; por ello el material vegetal siempre debe encontrarse en contacto con el agua, bien sea flotando o sumergido a fin de evitar el sobrecalentamiento y la carbonización del mismo. Además, el material vegetal debe ser mantenido en constante agitación para evitar que sedimente, adhiriéndose a las paredes del recipiente, lo cual puede provocar también su degradación, el rendimiento del proceso depende de la planta con la que se esté trabajando, pero en general, por cada 100 g de especie vegetal se obtiene 1 mL de aceite. [41]

Los Aceites Esenciales obtenidos mediante destilación en agua, normal mente presentan notas más fuertes y un color más oscuro con respecto a los producidos por otros métodos. En general, los aceites producidos por destilación en agua son de menor calidad

2.9.2.c Destilación al vacío. El método se basa en los puntos de ebullición de cada constituyente, este método se usa cuando el punto de ebullición del compuesto deseado es difícil de lograr dado

que existe la posibilidad de que al alcanzar dicha temperatura este se deteriore, por lo tanto, se disminuye la presión generando que la temperatura de ebullición también disminuya.[74].

La mayor ventaja de este método, es la mínima probabilidad de la descomposición de los aceites esenciales y la formación de compuestos no deseados, debido a las bajas temperaturas de trabajo.

### ***2.9.3 Extracción con solventes.***

Método en el cual se emplea un disolvente afín a la sustancia de interés con el fin de que ésta sea retirada o apartada de otras las cuales no sean afines a este.

2.9.3.a Extracción con solventes volátiles. Este método se basa en la facilidad de los disolventes orgánicos para penetrar en el material vegetal y disolver sus aceites volátiles, debido a las diferencias de punto de ebullición entre el aceite esencial y el solvente su proceso de separación es relativamente fácil.

La técnica consta en que una muestra seca y molida se pone en contacto con solventes tales como éter de petróleo, pentano, éter etílico, alcohol, cloroformo, etc. Estos solventes solubilizan la esencia, pero también solubilizan y extraen otras sustancias tales como ácidos grasos, ceras y pigmentos, que se pueden separar por destilación controlada.

Posee como ventaja la de trabajar a temperaturas bajas, por lo que no se genera una la termo destrucción ni o alguna alteración química de los componentes del aceite, otra venta consiste en el de la separación de componentes objetivos del solvente. Sin embargo, se utiliza a escala de laboratorio pues a escala industrial resulta bastante costoso por el valor comercial de los solventes, requeriré de instalaciones fijas y personal especializado; además, porque se obtienen esencias impurificadas con otras sustancias (algunas veces tóxicas) y por el riesgo de una explosión e incendio por el uso de solventes orgánicos volátiles. [39]

2.9.3.b Extracción con fluidos supercríticos. Este proceso, también conocido como EFS, consta en utilizar como material de arrastre alguna sustancia química que en condiciones de presión y temperaturas que superan el punto crítico de la sustancia manejada que en suelen ser utilizarse el metano, etileno, cloro trifluoro metano, óxido nitroso, hexafluoruro de azufre, propileno, propano, amoníaco, n-hexano, isopropanol, etanol, tolueno, xenón y el dióxido de carbono.

Siendo el dióxido de carbono es el solvente supercrítico más investigado, esto debido a que no es un elemento tóxico, inflamable, no perjudica el medio ambiente y no requiere de un equipo costoso para cumplir su misión de arrastre de aceites esenciales. Además, presenta propiedades físico químicas propias de los gases y los líquidos, lo que lo convierte en un solvente muy versátil en procesos de separación.[39]

El método consta en que el material vegetal se muele y licua para luego ser empacado en una cámara de acero inoxidable en la cual se hace circular un líquido supercrítico. Los aceites esenciales se solubilizan y el líquido supercrítico que actúa como solvente extractor se elimina por descompresión progresiva hasta alcanzar la presión y temperatura ambiente, y finalmente se obtiene un aceite puro

Este proceso presenta varias ventajas como un alto rendimiento, amigable con el medio ambiente, la separación es mas sencilla por la descompresión, el solvente puede volver a utilizarse, temperaturas moderadas, lo cual permite evitar la degradación del extracto, ; los extractos están libres de contaminantes biológicos por las presiones y temperaturas empleadas en este proceso afectando en el tiempo de vida del producto ,los extractos obtenidos conservan casi intactas sus características de sabor y aroma.

Sin embargo, al igual que los procesos de extracción convencional es necesario disponer de datos de equilibrio para conocer cómo se distribuye el componente de interés en las distintas fases y determinar la su composición del producto extraído para cualquier composición de la mezcla inicial. Este es el mayor problema de la EFS, ya que apenas se disponen de datos experimentales para realizar estos cálculos imprescindibles [39]

#### ***2.9.4. Enfloración.***

La técnica de enflorado se ha empleado para la extracción de esencias de flores delicadas, sensibles al calor y costosas como: Jazmín, rosas, violeta y resinas como la mirra. En la actualidad y se sustituye por la extracción con hexano ligero como solvente.[40]

Es un procedimiento muy costoso por la mano de obra. Su funcionamiento consiste en que los pétalos frescos se ponen en contacto con una delgada capa de grasa otro aceite o grasa animal, el perfume emitido por las flores es absorbido por la grasa Después de dos o tres meses muchas capas de grasa se saturan con las moléculas perfumadas del aceite de la flor y éste se separa con alcohol por un método de destilación simple. Es una de las formas más antiguas de obtener esencias aisladas, los egipcios la utilizaron este método se usa para hacer ungüentos perfumados y varios cosméticos [41]

## **2.10 Tratamientos**

Debido a los componentes presentes en el aceite de café que son en su mayoría ácidos grasos, es posible optar por un tratamiento el cual generaría mejores componentes que cumplan con el rol de inhibidores a la corrosión de manera más efectiva y optima, para poder llegar a conseguir este componente, es necesario hacer una hidrólisis.

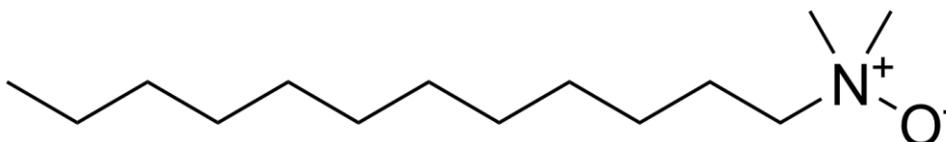
La hidrólisis para las amidas y ésteres se genera en el momento que los reactivos nucleofílicos, como el agua o los iones de hidróxido, atacan el carbono del éster o del grupo carbonilo de la amida. Para las bases acuosas, los iones de hidróxido son mejores nucleófilos que las moléculas polares como el agua. En los ácidos, el grupo carbonilo se ganan carga, lo que facilita un ataque nucleofílico. Dado que las amidas resultan de la condensación de aminas y ácidos carboxílicos, la hidrólisis de las amidas produce aminas y ácidos.

En el caso de los ésteres, como resultado de la condensación del ácido carboxílico y el alcohol, se obtiene de la misma forma el ácido y el alcohol. Uno de los ejemplos más antiguos de hidrólisis es la saponificación, donde la hidrólisis básica produce triglicéridos. Glicerina y un ácido graso Estos ácidos luego reaccionan con las bases de la solución para formar una sal orgánica llamada jabón. en donde los ácidos grasos obtenidos durante el proceso de destilación simple realizada anteriormente

El componente clave obtenido de estas reacciones serían las aminas grasas. Las aminas grasas se definen como cualquier amina que posee una cadena de hidrocarburo mayoritariamente lineal de ocho o más átomos de carbono. Por lo general, se preparan a partir de los ácidos grasos los cuales son abundantes en la mayoría de aceites de origen vegetales o de semillas. Los componentes son en su mayoría de cadenas largas, que van hasta alrededor de 22 carbonos. Estos compuestos y sus derivados se utilizan como suavizantes de telas, agentes de flotación de espuma (purificación de minerales), inhibidores de corrosión, lubricantes y modificadores de fricción. También son la base para una variedad de formulaciones cosméticas.

### Figura 10

*Ejemplo de una Amina Grasa*



**Nota.** Ejemplifica una amina grasa siendo una parte con una cadena larga pero en uno de sus extremos con un grupo amino. Fuente: <https://www.researchgate.net/figure/Scheme-2-The-Nitrile-Process-for-the-formation-of-fatty-amines-and-prevalent-byproduct>. Acedido [6-06-22]

Para alcanzar dichos componentes se proponen 2 rutas para su obtención con las condiciones de reacción las ventajas y desventajas las cuales estas traen consigo.

#### Ruta 1

La hidrólisis ácida suele llevarse a cabo usando el ácido sulfúrico diluido y vapor, el cual actúa como un emulgente que asegura que las dos fases (grasa y acuosa ácida) puedan entrar en contacto; los ácidos grasos resultantes flotan, como una capa aceitosa, quedando la glicerina en una fase acuosa. Por decantación se pueden separar los ácidos grasos, insolubles en agua, de la glicerina.

Este procedimiento de la hidrólisis se debe de llevar a cabo a presiones superiores a 50 atmósferas utilizando ZnO como catalizador. En estas condiciones no se requiere medio básico ni ácido. Los ácidos grasos, así obtenidos, se separan en distintas fracciones, por destilación a vacío.

Una de las ventajas en el uso de este método son las posibles rutas a las que se podrían obtener de los ácidos grasos es su transformación en derivados nitrogenados, de los cuales los más

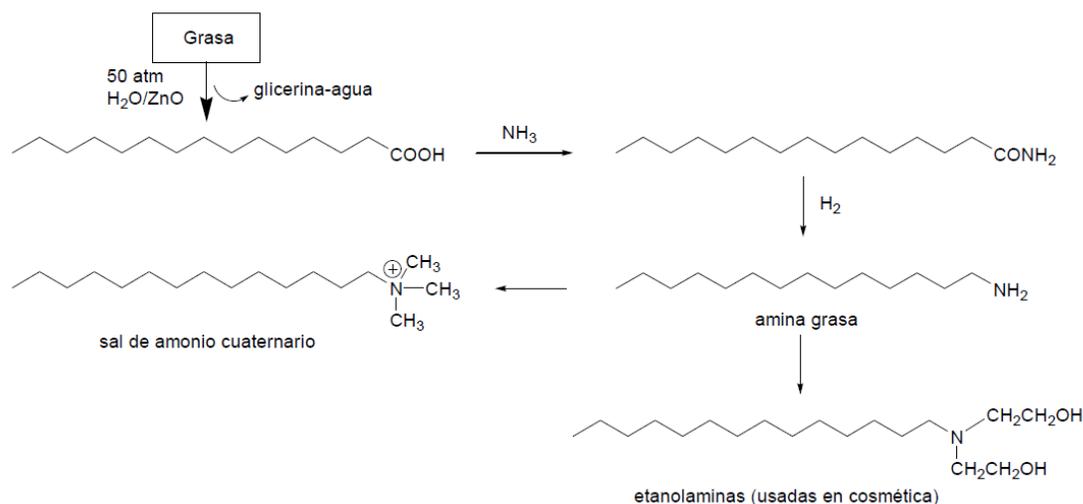
importantes son las aminas grasas que sería el objetivo en este apartado, pero se podría obtener las sales de amonio cuaternario como un subproducto tal y como se ve en la figura 16.

Estas últimas son tensoactivos catiónicos que se emplean como inhibidores de la corrosión, suavizantes, adhesivos, bactericidas y agentes de flotación.

El empleo de la glicerina como subproducto no encontraría algún tipo de problema a la hora de encontrar algún uso a nivel industrial, dado que es una sustancia de alta viscosidad y soluble en agua en todas proporciones, se utiliza como anticongelante, como humectante para tabaco, en la preparación de productos farmacéuticos y cosméticos y como materia auxiliar para tintas de imprenta. Como triol la glicerina se utiliza para la preparación de resinas alquídicas que son sustancia base en la industria de las pinturas.

### Figura 11

*Reacción para la obtención de una amina grasa a partir de metano*



**Nota.** Muestra un proceso para la obtención de una amina grasa junto con otros sub productos de interés a nivel industrial. Disponible: <https://www.eii.uva.es/organica/qoi/tema-02.php>  
Accedido [04-06-2022]

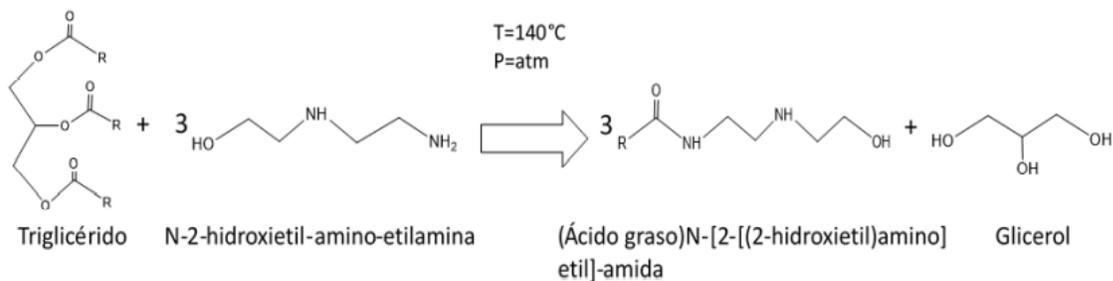
## Ruta 2

Se emplearía en lugar del amoníaco el N-2-hidroxi-etil-amino-etilamina en donde su principal ventaja es que posee la ruta de reacción presente en la figura 17. Su principal ventaja son las temperaturas y presiones relativamente bajas las cuales son fácilmente alcanzables.

Donde seguiría contando Como ventaja la producción del glicerol para poder seguir utilizándolo como un buen sub producto a nivel industrial.

### Figura 12

*Síntesis del inhibidor tipo amida a partir del aceite de bagazo de café. R representa a los ácidos grasos contenidos en el aceite de café*

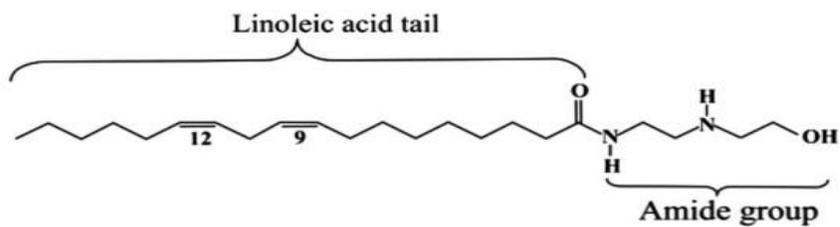


**Nota** Muestra la reacción de un ácido graso con el N-2-hidroxi-etil-amino-etilamina con el fin de obtener un ácido graso y como sub producto el glicerol para ser usado con un inhibidor a la corrosión. Fuente: [https://www.researchgate.net/figure/Scheme-2-The-Nitrile-Process-for-the-formation-of-fatty-amines-and-prevalent-byproduct\\_](https://www.researchgate.net/figure/Scheme-2-The-Nitrile-Process-for-the-formation-of-fatty-amines-and-prevalent-byproduct_) Acedido [6-06-22]

El Producto Obtenido sería una amina grasa presentada como un buen inhibidor de tipo amino para la industria como un agente tensoactivo.

**Figura 13.**

*linoleico N-[2-[(2-hidroxi)etil] amino] etil]-amida*



*Nota.* Muestra el componente obtenido luego de hacer la hidrolisis acida, dado que el componente más abundante es el ácido linoleico en el aceite.

Disponible: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Linoleamide>

### 3. METODOLOGIA

Se detallarán los materiales necesarios para el desarrollo del presente proyecto, describiendo equipos implementados y metodología utilizada para llevar a cabo la extracción del aceite.

#### 3.1 Materiales

Antes de empezar es necesario identificar el tipo de materia prima a utilizar y la fuente de la misma. Colombia es un país productor de café gracias a su posición geoespacial en el trópico, ya que el mismo se desarrolla óptimamente en climas cálidos y se adapta a una amplia gama de condiciones climáticas, de esta manera las empresas encargadas de sus procesos productivos pueden abastecerse con facilidad durante todo el año, en el caso de Colombia se generan dos cosechas anuales, el café que fue utilizado para esta tesis fue de la marca

**3.1.1 Solventes.** Se estudiaron las propiedades físicas de posibles solventes a usar, con el fin de escoger aquellos que contaran con baja toxicidad, punto de ebullición que brindara facilidades operacionales, baja inflamabilidad, fácil recuperación y costos accesibles.

3.1.1.a Etanol. También conocido como alcohol etílico, es una sustancia incolora que a condiciones normales de temperatura y presión tiene un punto de ebullición de 78,4°C, haciéndola una sustancia inflamable. El etanol es polar (menos que el agua) y es el solvente más utilizado a nivel laboratorio, ya que es de fácil recuperación y solubiliza la esencia, pero también otras sustancias presentes en frutos o plantas tales como aceites esenciales y ceras.

3.1.1.b Hexano. Es una sustancia química elaborada a partir del petróleo crudo es un líquido incoloro con un olor ligeramente desagradable. Se evapora fácilmente en el aire y se disuelve muy poco en el agua, es un solvente ampliamente utilizado en la extracción de aceites vegetales y ceras debido a la polaridad de la misma. [34]

#### 3.2 Equipos y sustancias

Durante el desarrollo del proyecto se usó la extracción con solventes volátiles (también conocida como extracción Soxhlet) a continuación, se describen los montajes. Los equipos requeridos para el desarrollo del este proyecto fueron facilitados por la Fundación Universidad de América.

**Tabla 3.**

*Condiciones de operación y equipos de proceso.*

EQUIPO / MATERIAL	CONDICIONES DE OPERACIÓN	IMAGEN
Horno de bandejas WTCbinder	Secado T = 100 °C a 104 °C t = 24 h	
Planchas de calentamiento DLAB MS-H280-Pro	Calentamiento T= 50 a 70 °C t = 16 h	
Condensador de bolas	Condensado T = Temperatura ambiente. t= 16 h	
Condensador de lineal	Condensado T = Temperatura ambiente. t= 16 h	

AS R2 PLUS Balanza analítica	Pesado T = Temperatura ambiente T=10 min	
------------------------------	------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------

**Nota.** Muestra los diferentes equipos empleados en el proceso para la elaboración del aceite a partir de borra de café

**Tabla 4**

*Concentraciones de sustancias empleadas*

Sustancia	Concentraciones
HCL	38%
Hexano	95%
Etanol	60%

**Nota.** Muestra las concentraciones de los solventes empleados en el proceso de elaboración del aceite.

Para la preparación de los medios corrosivos se dispuso del uso de agua de grifo la cual según la resolución 2115 de 2007 ministerio de la protección social ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial la cual indica las cantidades permitidas de diferentes compuestos presentes en el agua en el territorio colombiano para ser apta para el consumo

**Tabla 5**

*Compuestos químicos presentes en el agua de llave*

Elementos, compuestos químicos y mezclas de compuestos químicos diferentes a los plaguicidas y otras sustancias	Valor máximo aceptable (mg/L)
Aluminio	0,2
Carbono orgánico	5
Calcio	60
Cianuro libre y disociable	0,05
Cloruros	250
Fosfatos	0,5
Hierro total	0,3
Manganeso	36
Mercurio	0,001
Manganeso	0,1
Molibdeno	0,07
Nitritos	0,1
Nitratos	10
Sulfatos	250
Zinc	3

**Nota.** Muestra los diferentes componentes encontrados en el agua de llave. Extraído de “resolución 2115 de 2007 ministerio de la protección social ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial”

### 3.3 Procedimiento extracción Soxhlet

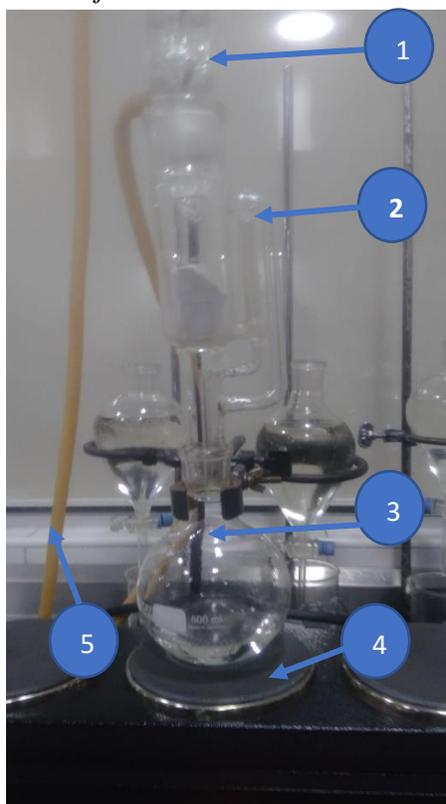
Una vez caracterizadas las sustancias con las que se van a trabajar además de los equipos que van a ser utilizados para los diferentes apartados para la extracción del aceite, en donde en primera instancia se van a realizar el procedimiento para la extracción de ácidos grasos presentes en la borra será necesario que se emplee la extracción soxhlet con el fin de poder aislar dichos ácidos grasos para su posterior separación.

#### 3.3.1 Montaje

El montaje se compone de una plancha de calentamiento, un balón aforado de fondo plano de 250 mL, un digestor Soxhlet de 100 mL, un condensador de bolas y una bomba de reflujo, que alimenta el condensador, como se muestra en la Figura 10

**Figura 14.**

*Montaje Soxhlet*



*Nota.* La figura muestra el montaje de la extracción por el método soxhlet señalando los equipos usados.

En dónde:

1. Condensador de bolas
2. Extractor Soxhlet/ digestor (100ml)
3. Balón (250 ml)
4. Plancha de calentamiento
5. Bomba de reflujo.

Para el desarrollo de la parte experimental, se realizara en tres etapas, la primera seria la recolección de la materia prima, que en este caso es la borra de café la cual deberá ser almacenada en un ambiente frio para evitar que en la misma crezca algún tipo de microorganismo. La Etapa 2 se llevará a cabo extracciones del aceite esencial de la borra y finalmente en la etapa 3 se realizará el montaje experimental donde a diferentes piezas metálicas se les someterá en un ambiente idóneo para la corrosión de estas donde se aplicará como inhibidor el aceite extraído.

### ***3.3.2 Etapa 1***

3.3.1.a. Recolección. Con el propósito de obtener la materia prima se recogió del café consumido hasta alcanzar la cantidad deseada, se almaceno en la nevera en el periodo de recolección para preservar su integridad de agentes microbiológicos

### **3.3.3 Etapa 2**

3.3.2.a. Secado de la muestra para eliminar cualquier tipo de microorganismo que pudo haber adquirido en el periodo de almacenamiento este proceso tuvo una duración de 24 horas en un horno de secado a 105 °C.

Para el procedimiento de extracción del aceite en una primera instancia la Borra de café se pesa y se introducen 10 g dentro de un cartucho cilíndrico hecho de papel filtro, el cual se alojará en la cavidad superior del digestor Soxhlet de tal manera que no obstaculice el flujo apropiado del vapor que sube desde el matraz, el goteo desde el condensador o el tubo capilar que permite el reflujo. Por su parte, en el matraz se dispondrán 150 mL de solvente el cual fue el hexano, dado su alta afinidad a los ácidos grasos presentes en las plantas [9], los cuales serán calentados hasta temperaturas menores al punto de ebullición

**Tabla 6***Condiciones de operación extracción soxhlet*

Montaje	Temperatura (°C)	Presión (atm)	Hexano(ml)	Etanol (ml)
1	75	1	150	-
2	75	1	150	-
3	75	1	150	-
4	75	1	150	-
5	75	1	-	150
6	75	1	-	150
7	75	1	250	-
8	75	1	250	-

*Nota.* Muestra las condiciones a los que se llevó a cabo los diferentes montajes para la extracción por el método soxhlet

La extracción demora alrededor de 8 horas para completarse, por lo que se decidió dejarlo 4 horas después del primer reflujó y evitar degradación del producto de interés. El solvente llega a su punto de ebullición dependiendo del solvente empleado, el vapor producto del aumento de la temperatura sube por los capilares del digestor Soxhlet y llega hasta el condensador, en donde tiene lugar una condensación, por efecto de la gravedad el solvente cae sobre la muestra generando superficie de contacto entre el material vegetal y el solvente, el tubo capilar se empieza a llenar conforme las gotas de solvente caen al digestor, finalmente se genera un sifón el cual devuelve el solvente con extracto al balón de calentamiento para volver a empezar el proceso de extracción de manera repetitiva. Una vez el tiempo estipulado se ha finalizado la mezcla generada entre el solvente y el aceite extraído, se lleva a un proceso de separación.

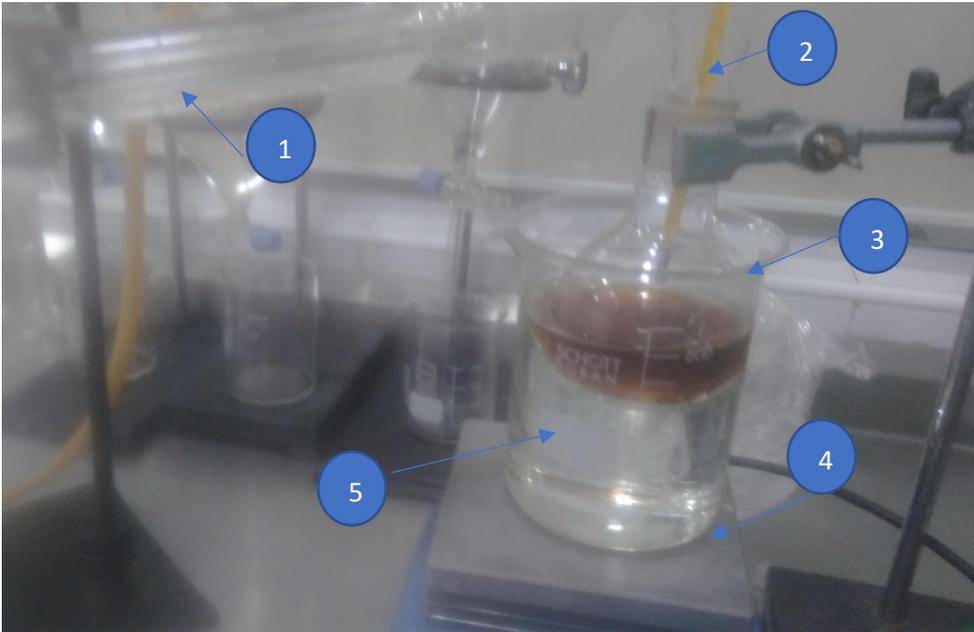
El proceso de extracción del aceite por el método Soxhlet fue un proceso bastante ineficiente esto debido por el tiempo que toma junto con el gran desperdicio de agua como refrigerante se usaron dos solventes para identificar el más idóneo para esta separación el etanol y el hexano

### 3.4 Destilado

para la separación del solvente utilizado se realizará una destilación simple.

**Figura 15**

*Montaje destilacion simple*



**Nota.** Proceso extractivo empleado para la separación del aceite del solvente usado por destilación

En dónde:

1. Condensador
2. Termómetro
3. Balón (250 ml)
4. Plancha de calentamiento
5. Aceite Vegetal

El proceso de separación del aceite del solvente por una destilación fue un proceso el cual presento una gran mejoría en términos del tiempo por consiguiente se habría utilizado una menor cantidad de agua como refrigerante

## Figura 16

### *Destilado*



**Nota.** Aceite obtenido después del proceso de separación

El Producto obtenido del destilado, es decir, el aceite fue bastante escaso haciendo sea vea muy poco práctico, el uso de este método para la obtención de aceite, otro inconveniente presentes fue la imposibilidad de separar de forma completa el solvente del aceite esto evidenciado por un olor en el aceite de hexano generando la combinación de olores entre un expreso con el del hexano, en el caso del destilado usando etanol fue bastante bajo como para ser usado en las pruebas de caracterizado del aceite.

### **Tabla 7.**

#### *Condiciones de destilado del destilado*

Montaje	Temperatura (°C)	Presión (atm)	Aceite(ml)
1	75	1	1
2	75	1	0,6
3	75	1	0,8
4	75	1	0,7

5	75	1	0,01
6	75	1	0,02
7	75	1	1,2
8	75	1	1,4

**Nota.** Condiciones empleadas durante el proceso de destilado además de la cantidad de aceite recolectado en este proceso

**Caracterización.** Con el fin de conocer las particularidades fisicoquímicas del aceite extraído, se proceden a evaluar ciertas características de las mismas:

- **PH:** el PH es un factor importante a conocer, puesto que gracias a éste se conoce si una sustancia es ácida o alcalina, siendo un valor que decidiría que posibilidades existiría para su uso a nivel industrial ya que este podría estar afectando las reacciones que ocurran el ambiente donde se use, además de que establece la normatividad para su uso para la seguridad de los empleados al momento de su implementación.

El valor obtenido para el aceite fue de 5 siendo una sustancia acida, pero el valor no es demasiado bajo para el uso de protección.

- **Densidad (25°C):** se requiere saber la relación entre la masa de una sustancia y el volumen que ocupa en el espacio, para esto se emplea un picnómetro y una balanza analítica

$$\rho = \frac{Masa}{Volumen} \quad (6)$$

Se empleo de un picnómetro para este cálculo dado resultando en una densidad con un valor de  $0,942 \frac{gr}{ml}$

- **Conductividad:** dependiendo del este tipo de propiedad se le dará un uso diferente en caso de que su conductividad sea baja tendrá que trabajar como aislantes en transformadores o interruptores. Sin embargo, los aceites también pueden conducir corriente eléctrica. Su conductividad depende de diversos factores, incluyendo el tipo de aceite básico, sus aditivos y la polaridad.

## Figura 17

### Conductímetro



*Nota.* Conductímetro utilizado para identificar la conductividad del aceite

La conductividad obtenida a partir del conductímetro fue de  $0 \frac{S}{cm}$  esto puede deberse a la presencia de ácidos grasos presentes en el aceite adquiridos de la borra.

### 3.2.3 Etapa 3

3.3.3.a Pruebas de pérdida de masa (método gravimétrico). El método gravimétrico de pérdida de peso, permite evaluar la velocidad de corrosión, este procedimiento arroja una velocidad global o promedio de corrosión, haciendo posible determinar un porcentaje de eficiencia del inhibidor analizado.

#### Caracterización del acero

Los aceros ASTM A36 son aceros al carbono estructurales para la construcción de puentes y el sector de la construcción en general que cumplen los requisitos de las normas ASTM A36/ A36M. [29]

Clasificación: Aceros al carbono estructurales.

Aplicación: Chapas laminadas, productos largos incluyendo los aceros conformados.

## Usos

Son utilizados en la fabricación de estructuras de acero soldadas y atornilladas, para la construcción industrial y civil, así como para la construcción de puentes. El acero laminado ASTM A36 también se utiliza en la fabricación de artículos y piezas para usos generales del sector de la construcción y la ingeniería.

composición química: 0.25 C; 0.4% Si; 0 Mn; 0.05% S; 0,05 P; 0,25 Cu

El manganeso, silicio, fósforo y azufre, inclusive cromo, están presentes como elementos residuales o como elementos trazas del proceso de fabricación [32]

Para hacer la prueba de pérdida de masa, fue necesario la creación de la siguiente maqueta en donde en estos espacios sería puestos recipientes hechos de polipropileno un material hecho para soportar un ambiente ácido en donde serán sumergidos las piezas metálicas, para este montaje habrá piezas las cuales serán recubiertas en su superficie con el aceite para su posterior inmersión en la sustancia corrosiva mientras otros no siendo estos el blanco.

### **Figura 18**

*Esquema para la pérdida de masa*



**Nota.** Vista superior del montaje donde se realizarán las pruebas de pérdida de masa.

Para la preparación de las sustancias corrosivas en las diferentes concentraciones se aplicó la siguiente fórmula para la preparación para la solución de salmuera.

$$\% \frac{m}{v} = \frac{gr(soluto)}{ml(solución)} * 100 \quad (7)$$

Donde A partir de esta se prepararon la solución de salmuera para las pruebas de pérdida de masa.

Para la preparación del medio ácido de HCL, fue necesario aplicar la siguiente ecuación:

$$V_1 C_1 = V_2 C_2 \quad (8)$$

Para hacer uso de esta ecuación, es necesario conocer el término a hallar en la misma el cual vendría a ser V1, el V2 siempre obtendrá el valor de 100 ml que es el valor establecido, C1 es la concentración a la cual está el ácido suministrado por la universidad, que fue de 0,38% y C2 es el valor al que deseamos llevar el montaje que será 5%, 10% y 15%, una vez realizado el despeje a este valor de volumen será restado de V2 siendo este nuevo valor la cantidad de agua a agregar.

### Figura 19

*Montaje para pérdida de masa*



**Nota.** Muestra el proceso completo en donde se llevo el proceso de pérdida de masa

Para hallar la eficiencia del inhibidor se tomará el peso de cada pieza metálica en un periodo de 2 semanas y con los valores encontrados se utilizará la ecuación 8.

$$\theta = \frac{P_{in} - P_o}{P_{in}} \quad (9)$$

donde  $P_o$  es la pérdida de masa en ausencia de inhibidor y  $P_{in}$  es la pérdida de masa en presencia del inhibidor

### **3.5 Resultados**

Las eficiencias de inhibición son calculadas a partir de las velocidades de corrosión obtenidas durante la prueba de pérdida de masa.

Empleando la ecuación 3 y los datos en el anexo A da como resultado la tabla 11 la cual se puede evidenciar una velocidad mayor de corrosión en las piezas sometidas al HCL en cualquiera de las 3 concentraciones, en comparación con las piezas sometidas en la salmuera mostrando una velocidad menor en la velocidad en la concentración del 5% las otras concentraciones de salmuera presentaron una velocidad menor pero no a ese grado esto se evidenciara mejor en el cálculo de las eficiencias.

**Tabla 8.***Velocidad de corrosión en láminas de acero ASTM A-36*

MUESTRA	24 h	48 h	72 h	96 h	120 h	144 h	168 h	192 h	216 h	240 h
HCL 5% B	0,0009	0,000912	0,000417	0,000833	0,00125	0,001667	0,00125	0,00125	0,001667	0,00083
HCL 5%	0,0004	0,000833	0,000833	0,000417	0,000833	0,00125	0,00125	0,000833	0,000833	0,00125
HCL 10% B	0,0017	0,00125	0,00125	0,001667	0,00125	0,00125	0,001667	0,002083	0,000833	0,00125
HCL 10%	0,0013	0,000833	0,001667	0,001667	0,000833	0,0025	0,002083	0,000833	0,000833	0,00166
HCL 15% B	0,0018	0,002667	0,002083	0,0025	0,002083	0,002083	0,005	0,00317	0,00389	0,00208
HCL 15%	0,0025	0,001667	0,0025	0,001667	0,0025	0,0025	0,00375	0,00375	0,002917	0,00213
NACL 5% B	0,0004	0,000417	0,000833	0,000517	0,000633	0,000833	0,000733	0,000417	0,000417	0,00041
NACL 5%	0,0005	0,000401	0,000417	0,000417	0,000417	0,000563	0,000419	0,000417	0,000417	0,00083
NACL 10% B	0,0004	0,000833	0,000417	0,000833	0,000417	0,000833	0,000833	0,00125	0,00125	0,00083
NACL 10%	0,0004	0,000417	0,000317	0,000433	0,00425	0,00125	0,000833	0,00125	0,000833	0,00083
NACL 15% B	0,0004	0,000833	0,000833	0,000733	0,000833	0,00125	0,000733	0,00125	0,00125	0,00208
NACL 15%	0,0004	0,000417	0,000833	0,00155	0,00125	0,000833	0,00125	0,000833	0,002083	0,00166

**Nota.** Muestra la velocidad de corrosión en los diferentes días en los distintos medios corrosivos

Para el cálculo de las eficiencias se dispuso del uso de la ecuación número 9 y los datos presentados en la tabla 8, se promediaron y separaron en las 2 semanas de duración del experimento.

**Tabla 9.**

*Eficiencias de inhibición (Primera semana).*

Solución corrosiva	Eficiencia del inhibidor %
5% HCL	10,09
10%HCL	6,30
15%HCL	2,74
5%NACL	30,87
10% NACL	21,58
15% NACL	10,20

*Nota.* Se muestra las diferentes eficiencias de las piezas metálicas durante la primera semana en las diferentes soluciones corrosivas

**Tabla 10.**

*Eficiencias de inhibición (segunda semana).*

Solución corrosiva	Eficiencia del inhibidor %
5% HCL	8,75
10%HCL	3,32
15%HCL	8,75
5%NACL	23,01
10% NACL	11,01
15% NACL	6,44

*Nota.* Se muestra las diferentes eficiencias de las piezas metálicas durante la segunda semana en las diferentes soluciones corrosivas

De acuerdo a las eficiencias tabuladas se puede decir, la muestra con mejores resultados por su mayor eficiencia se encontró en la en las soluciones con NaCl, pero a pesar de que posea un porcentaje alto en comparación con el HCL esta no llega a alcanzar un valor indicado para ser considerado útil, para que un inhibidor de la corrosión se pueda considerar como tal es necesario que el mismo tenga un porcentaje  $\geq 75\%$  [30]

#### 4. CONCLUSIONES

La concentración de las soluciones corrosivas tuvo una relación en la velocidad de corrosión, la sustancia que presento mejores resultados fue la solución salina a una concentración de 5%, indicando que es posible que a menores concentraciones se alcancen mejores resultados dado que al aumentar las concentraciones esta disminuye el porcentaje de efectividad.

Dado que los componentes presentes en el aceite son en su mayoría componentes grasos, el empleo de estos estarían restringidos a medios en los cuales estén sin la presencia de ácidos ya que estos estarían afectando la estructura del compuesto, con esto en consideración un empleo en una corrosión dulce sería el ideal dado que esta se da por la presencia en su mayoría de dióxidos de carbono la cual se presentan en pozos petroleros.

El empleo del hexano como el solvente principal para la extracción del aceite de café mediante la borra, acarrea varios problemas, en primera instancia este es un componente tóxico no por sí mismo, pero si llegara a ser inhalado se convierte en 2,5-hexanodiona [34], que es la que realmente afecta al sistema nervioso. Además de ser un derivado del petróleo es un recurso no renovable, pero es un solvente muy barato, que efectúa su labor de forma muy eficiente, que se elimina con facilidad dado que este tiende a evaporarse fácilmente de momento es difícil el uso de otro tipo de solvente que lo pueda sustituir.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] V. S. Sastri, Green Corrosion Inhibitors, Hoboken, New Jersey: John Wiley & sons, Inc., 2011.
- [2] S. E. Manahan, Environmental chemistry, Boca Raton, Florida: Lewis Publishers 2000, 7<sup>th</sup> Edition, pp. 106, 530.
- [3] I. R. García, Inhibidores de corrosión de acero en medios ácidos a partir de extractos naturales., Mexicali, B. C.: Universidad Autónoma de Baja California, 2014.
- [4] E. Asghari, H. Ashassi-Sorkhabi, M. Ahangari, R. Bagheri, Optimization of a Three Component Green Corrosion Inhibitor Mixture for Using in Cooling Water by Experimental Design, J. Mater. Eng. Perform. DOI:10.1007/s11665-015-1865-7.
- [5] R. Gurram, M. Al-Shannag, S. Knapp, T. Das, E. Singaas, M. Alkasrawi, Technical possibilities of bioethanol production from coffee pulp: a renewable feedstock., »Clean Technol. Environ. Policy 18 (2016) DOI:10.1007/s10098-015-1015-9
- [6] S. Phimsen, W. Kiatkittipong, H. Yamada, Tomohiko Tagawa, K. Kiatkittipong, N. Laosiripojana, S. Assabumrungrat, Oil extracted from spent coffee grounds for biohydro-treated diesel production, Energy Convers. Manag. 126 (2016) .DOI: 10.1016/j.enconman.2016.08.085
- [7] G. Florette, Y. Juarez, K. Branden, C. Pabiloña, K. Brandon, L. Manlangit, A. Woo Go. Direct Dilute Acid Hydrolysis of Spent Coffee Grounds: A New Approach in Sugar and Lipid Recovery. Waste Biomass Valor. 9 (2018). DOI: 10.1007/s12649-016-9813-9
- [8] N. Chen, J. Ren, Z. Ye, Q. Xu, J. Liu, S. Sun. Kinetics of coffee industrial residue pyrolysis using distributed activation energy model and components separation of bio-oil by sequencing temperature-raising pyrolysis. Bioresour. Technol. 221 (2016). DOI: 10.1016/j.biortech.2016.09.062
- [9] R. Campos-Vega, G. Loarca-Piña, A. Vergara-Castañeda, B. Dave Oomah. Spent coffee grounds: A review on current research and futures prospects. Trends Food Sci. Technol. 45 (2015). DOI: 10.1016/j.tifs.2015.04.012

- [10] M. A. Silva, S. A. Nebraa, M. J. Machado Silvaa, C. G. Sanchez, The use of biomass residues in the Brazilian soluble coffee industry,» *Biomass Bionergy* 14 (1988) DOI: 10.1016/S0961-9534(97)10034-4
- [11] W. J. Yen, B. S. Wang, L. W. Chang, P. D. Duh, Antioxidant properties of roasted coffee residues, *J. Agric. Food Chem.* 53 (2005).DOI: 10.1021/jf0402429
- [12] J. Simões, P. Madureira, F. M. Nunes, M. do Rsário Domingues, M. Vilanova, M. A. Coimbra. Immunostimulatory properties of coffee mannans,»*Mol. Nutr. Food Res.*53 (2009) .DOI: 10.1002/mnfr.200800385
- [13] N. Kondamudi, S. K. Mahapatra, M. Misra. Spent coffee grounds as a versatile source of green energy, *J. Agric. Food Chem.* 56 (2008). DOI: 10.1021/jf802487s
- [14] S. I. Mussatto, L. M. Carneiro, J. P. A. Silva, I. C. Roberto, J. A. Teixeira. A study on chemical constituents and sugars extraction from spent coffee grounds, *Carbohydr. Polym.* 83 (2011).DOI: 10.1016/j.carbpol.2010.07.063
- [15] A. S. Franca, L. S. Oliveira, M. E. Ferreira. Kinetics and equilibrium studies of methylene blue adsorption by spent coffee grounds, *Desalination* 249 (2009). DOI: 10.1016/j.desal.2008.11.017
- [16] P. S. Murthy, M. M. Naidu, P. Srinivas. Production of  $\alpha$ -amylase under solidstate fermentation utilizing coffee waste,» *J. Chem. Technol. Biotechnol.* 84 (2009) 1246- 1249, 2009.DOI: 10.1002/jctb.2142.
- [17] P. Esquivel, V. M. Jiménez. Functional properties of coffee and coffee by products. *Food Res. Int.* 34 (2012) 49-56. DOI: 10.1016/j.foodres.2011.05.028
- [18] A. L. Chong, J. I. Mardel, D. R. MacFarlane, M. Forsyth, A. E. Somers, Synergistic Corrosion Inhibition of Mild Steel in Aqueous Chloride Solutions by an Imidazolium Carboxylate Salt,» *ACS Sustain. Chem. Eng.* 4 (2016) 1746-1755. DOI: 10.1021/acssuschemeng.5b01725
- [19] C. G. Dariva, A. F. Galio, *Developments in Corrosion,» de Corrosion Inhibitors Principles, Mechanisms and Applications*, Dr. M. Aliofkhazraei (Ed), InTech, 2014.

- [20] P. Bothi Raja, M. Ismail, S. Ghoreishiamiri, J. Mirza, M. Che Ismail, S. Kakooei, A. Abdul Rahim, Reviews on Corrosion Inhibitors: A Short View, Chem. Eng. Commun. 203 (2016) DOI:10.1080/00986445.2016.1172485
- [21] V. S. Sastri, Corrosion inhibitors: principles and applications, Michigan: Wiley, 1998.
- [22] Somnuk, K., Eawlex, P., & Prateepchaikul, G. (2017). Optimization of coffee oil extraction from spent coffee grounds using four solvents and prototype-scale extraction using circulation process. *Agriculture and Natural Resources*, 51(3).DOI: 10.1016/j.anres.2017.01.003
- [23] Rocha, m. v. p. et al. 2014. Ultrasound-assisted production of biodiesel and ethanol from spent coffee grounds. *Bioresource Technology*, Vol. 167, pp. 343–348.DOI: 10.1016/j.biortech.2014.06.032
- [24] European market potential for speciality coffee [En línea] <https://www.cbi.eu/market-information/coffee/specialty-coffee/market-potential> [Accedido: 12- 04-2022]
- [25] Comportamiento de la industria cafetera colombiana [En línea] [https://lebasic.com/wp-content/uploads/2020/07/BASIC-DEVC0-FA0\\_Cocoa-Value-Chain-Research-report\\_Advance-Copy\\_June-2020](https://lebasic.com/wp-content/uploads/2020/07/BASIC-DEVC0-FA0_Cocoa-Value-Chain-Research-report_Advance-Copy_June-2020) [Accedido: 12- 04-2022]
- [26] Aspectos botánicos [En línea] [https://www.ico.org/es/botanical\\_c.asp](https://www.ico.org/es/botanical_c.asp)
- [27] Producción de café de Colombia cerró el 2019 en 14,8 millones de sacos [En línea] <https://federaciondecafeteros.org/wp/listado-noticias/produccion-de-cafe-de-colombia-cerro-el-2019-en-148-millones-de-sacos/> [Accedido: 22- 05-2022]
- [28] El país es el mayor productor de café suave arábico lavado del mundo [En línea] <https://www.portafolio.co/indicadores-economicos/produccion-de-cafe-en-colombia-entre-enero-y-abril-del-2018> [Accedido: 22- 05-2022]
- [29] Aceros ASTM A36 [En línea] <https://metinvestholding.com/es/products/steel-grades/astma36> [Accedido: 12- 04-2022]
- [30] V. S. Sastri, Green Corrosion Inhibitors, Hoboken, New Jersey: John Wiley & sons, Inc., 2011.

- [31] I. R. García, Inhibidores de corrosión de acero en medios ácidos a partir de extractos naturales., Mexicali, B. C.: Universidad Autónoma de Baja California, 2014. 3
- [32] D. M. Bazaldúa, desarrollo de un inhibidor de corrosión verde a base de extracto de nopal para su uso en acero al carbono 1018 expuesto en hcl 1m, Chihuahua, Chih.: Instituto Tecnológico de Chihuahua, 2013.Tesis de CIMAV
- [33] Velazquez-Torres, N., Martinez, H., Porcayo-Calderon, J., Vazquez-Velez, E., Gonzalez-Rodriguez, J. G., & Martinez-Gomez, L. (2018). Use of an amide-type corrosion inhibitor synthesized from the coffee bagasse oil on the corrosion of Cu in NaCl. *Green Chemistry Letters and Reviews*, 11(1), 1-11.DOI: 10.1080/17518253.2017.1404645
- [34] Acta de Bioquímica Clínica Latinoamericana [En línea]  
<https://www.infobioquimica.com/wrapper/CDInterpretacion/te/to/01.htm> [Acedido 5-05-2022]
- [35] Soxhlet, del inventor al método [En línea]  
<https://www.sabermas.umich.mx/archivo/articulos/244-numero-29/450-soxhlet-del-inventor-al-metodo.html> [Acedido 5-05-2022]
- [36] R. Campos-Vega, G. Loarca-Piña, A. Vergara-Castañeda, B. Dave Oomah. Spent coffee grounds: A review on current research and futures prospects. *Trends Food Sci. Technol.* 45 (2015) 24-36.DOI: 10.1016/j.tifs.2015.04.012
- [37] Campos-Vega, R., Loarca-Pina, G., Vergara-Castañeda, H. A., & Oomah, B. D. (2015). Spent coffee grounds: A review on current research and future prospects. *Trends in Food Science & Technology*. DOI:10.1016/j.tifs.2015.04.012
- [38] Andrés, J. P., & Hernando, M. R. (2018). *Flora arvense de Navarra*. Universidad Pública de Navarra/Nafarroako Unibertsitate Publica.
- [39] Bandoni, Arnold; Stashenko, Elena. Curso teórico práctico sobre extracción de Aceites Esenciales. Universidad Industrial de Santander, mayo de 1994 y Segundo curso sobre Aceites Esenciales, 1995.

- [40] Wijesekera, r.o.b., ratnatung a, C.M . and Durbeck, Klaus. The distillation of Essential Oils. Manufacturin gand Plant Construction Handbook. Protrade. Federal Republic of Germany, 1997
- [41] Meyer Torres, G., Sarmiento, O. I., Ramírez, R. I., & Guevara, O. (2018). Evaluación del rendimiento del aceite esencial de caléndula (*Calendula officinalis* L) obtenido por OAHD. *Revista Ion*, 31(1), 13-19.
- [42] Sharapin, N. (2000). *Fundamentos de tecnología de productos fitoterapéuticos* (Vol. 78). CAB, 100-113

## GLOSARIO

**ADSORCIÓN:** termino asociado al proceso donde un sólido a través de su superficie retiene los átomos, iones o moléculas de una determinada una sustancia de interés con solubilidad en agua.

**ADSORBATO:** sustancia en el estado adsorbido.

**ADSORBENTE:** material sólido sobre el que la adsorción se produce.

**BORRA:** Componente residual después de la preparación del café también es conocido como Bagazo, generalmente es desechado luego de la preparación del café.

**CONDUCTOR:** Parte de la superficie metálica en la cual se transportan las cargas generadas en los procesos de oxidación y reducción.

**CORROSIÓN:** es el ataque destructivo del metal por una reacción química o electroquímica con su medio ambiente.

**DESTILACIÓN:** proceso de separación, el cual está basado en la diferencia de puntos de ebullición de dos sustancias líquidas coexistiendo en una mezcla homogénea. Este proceso requiere una primera etapa de inyección de calor controlado, el cual hará pasar a estado de vapor uno de los componentes (el más volátil) y una segunda etapa en donde por medio de condensación ésta sustancia regresará a estado líquido, pero esta vez ya dejará de hacer parte de la mezcla.

**ELECTROLITO:** es una solución conductora de corriente, del cátodo al ánodo y luego vuelve al cátodo a través del metal, completando un circuito

**EXTRACCIÓN:** proceso mediante el cual se separa el aceite esencial de la materia prima.

**INHIBIDORES DE CORROSIÓN:** es una sustancia química, que, adicionada en pequeñas concentraciones en un ambiente corrosivo, disminuye efectivamente la velocidad de corrosión.

**INHIBIDORES ORGÁNICOS:** los inhibidores a base de plantas los cuales forman una película que protegen al metal por la formación de una película hidrofóbica sobre él.

**OXIDACIÓN:** es la pérdida de los electrones de un átomo ó grupo de átomos sobre un metal, como producto de una reacción química en la que intervienen dos ó más elementos químicos.

**POLARIDAD:** propiedad química de las moléculas sobre la separación de las cargas eléctricas en la misma molécula. Se encuentra fuertemente influenciado por otras propiedades como la solubilidad, el punto de fusión, el punto de ebullición y fuerzas intermoleculares.

**REDUCCIÓN:** es la ganancia de electrones de un átomo o grupo de átomos de un metal a otro, como producto de una reacción química en la que interviene dos ó más elementos químicos.

**RENDIMIENTO:** cantidad de producto obtenido en relación con la cantidad de materia vegetal empleada durante dicha extracción.

**SOLVENTE:** sustancia orgánica capaz de permitir que otra sustancia se disperse en ella misma.

## ANEXO 1

**Tabla 11.**

*Pérdida de masa por 2 semanas*

MASA Gr											
MUESTRA	Masa inicial	Dia 1	Dia 2	Dia 3	Dia 4	Dia 5	Dia 6	Dia 7	Dia 8	Dia 9	Dia 10
HCL 5% B	6,42	6,40	6,39	6,38	6,36	6,33	6,29	6,26	6,23	6,19	6,15
HCL 5%	6,43	6,42	6,40	6,38	6,37	6,35	6,32	6,29	6,27	6,25	6,22
HCL 10% B	6,43	6,39	6,36	6,33	6,29	6,26	6,23	6,19	6,14	6,12	6,09
HCL 10%	6,4	6,37	6,35	6,31	6,27	6,25	6,19	6,14	6,12	6,10	6,06
HCL 15% B	6,38	6,34	6,30	6,25	6,19	6,14	6,09	5,97	5,90	5,84	5,79
HCL 15%	6,39	6,33	6,29	6,23	6,19	6,13	6,07	5,98	5,89	5,82	5,77
NACL 5% B	6,39	6,38	6,37	6,35	6,34	6,32	6,30	6,28	6,27	6,26	6,25
NACL 5%	6,4	6,39	6,38	6,38	6,36	6,35	6,33	6,32	6,31	6,30	6,28
NACL 10% B	6,44	6,43	6,41	6,40	6,38	6,37	6,35	6,33	6,30	6,27	6,25
NACL 10%	6,43	6,43	6,42	6,40	6,38	6,35	6,32	6,30	6,27	6,25	6,23
NACL 15% B	6,42	6,41	6,39	6,37	6,35	6,33	6,30	6,28	6,25	6,22	6,17
NACL 15%	6,42	6,41	6,40	6,38	6,35	6,32	6,30	6,27	6,25	6,20	6,16

*Nota.* Muestra las pérdidas de masa que sufrió el material en un periodo de dos semanas

## ANEXO 2

### RECOMENEDACIONES

Conociendo que la corrosión no puede evitarse, pero si es posible su control; y en aras de buscar mejores productos para la inhibición de corrosión y que sean amigables con el medio ambiente, es recomendable el análisis de diversas variables en la obtención y evaluación del extracto.

Evaluación del extracto en otras soluciones y medios corrosivas.

El proceso de la extracción del aceite se utilizó el método de Soxhlet, el solvente usado para esta extracción fue el hexano [22], el inconveniente fue que es altamente tóxico, siendo así un problema para el uso de los inhibidores verdes que buscan la eliminación de componentes de esta índole, además de que este tipo de extracción consume mucho tiempo el tiempo que fue usado fue de aproximadamente 9 horas, requieren una gran cantidad de disolvente y energía, y tienen una baja productividad [23].

Por lo tanto, sería necesario hacer un cambio para el método de extracción del aceite para maximizar los recursos disponibles tales como por ejemplo extracción con fluidos supercríticos (SFE), extracción por ultrasonidos o extracción por microondas.

Realizar pérdidas de masa a diferentes temperaturas, que permita calcular isothermas de absorción, así como registrar mayor información del comportamiento termodinámico del inhibidor.

Realizar el proceso extractivo con las otras 2 especies de café evaluando cual es más recomendable para el proceso de extracción de aceite.

Hacer pruebas mecánicas para evaluar su posible implementación como su uso en lubricantes